К. Д. КРАЕВИЧЪ

УЧЕБНИКЪ ФИЗИКИ

Курсъ среднихъ учебныхъ заведеній

КОЛОМЕА
Издательство Я. Ореншпейна

Изъ библіотеки Ф. Шмидта
№ 153.

УЧЕБНИКЪ ФИЗИКИ.

КУРСЪ

СРЕДНИХЪ УЧЕБНЫХЪ ЗАВЕДЕНІЙ.

СО МНОГИМИ ПОЛИТИПАЖАМИ ВЪ ТЕКСТѢ И НАЛИТОГРАФИРОВАННЫМИ ТАБЛИЦАМИ.

СОСТАВИЛЪ

К. КРАЕВИЧЪ.

СЕДЬМОЕ ИЗДАНІЕ,

ПЕРЕСМОТРѢННОЕ И ДОПОЛНЕННОЕ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Министерства Путей Сообщенія (А. Бенке),
по фонтанкѣ, № 99.

1880.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

Выпуская каждое изъ шести предыдущихъ изданій *Учебника Физики,* я дѣлалъ многія измѣненія, дополненія и сокращенія, сообразно открытіямъ, изобрѣтеніямъ, совершенствованіямъ научныхъ и педагогическихъ пріемовъ, указаніямъ преподавателей физики и собственному опыту.

При всѣхъ этихъ измѣненіяхъ, я старался удовлетворить одному изъ важнѣйшихъ правилъ обученія: начинать съ легчайшаго и, восходя постепенно къ труднѣйшему, упражнять умственныя силы учащихся только предметами имъ доступными. Отъ этого, планъ моей книги въ значительной мѣрѣ отличается отъ обычнаго способа расположенія матеріала въ учебныхъ руководствахъ по физикѣ, что легко замѣтить при чтеніи оглавленія.

Въ книгѣ три шрифта. Напечатанное крупнымъ шрифтомъ содержитъ, по моему мнѣнію, все существенно важное; средній шрифтъ заключаетъ подробности, которыя могутъ быть опущены безъ нарушенія связи цѣлаго; онѣ назначаются для дополненія курса въ реальныхъ училищахъ, для удовлетворенія любознательности учащихся и для пріученія ихъ къ самостоятельному чтенію. Въ концѣ многихъ главъ помѣщены вопросы (мелкій шрифтъ), разрѣшаемые на основаніи излагаемыхъ въ этихъ главахъ законовъ.

За послѣдніе годы сдѣланы болѣе или менѣе важныя изобрѣтенія.

Я изложилъ тѣ изъ нихъ, которыя достигли уже нѣкоторой степени совершенства и способны оказать большое вліяніе на методы изслѣдованія, или практическія примѣненія. Укажу на магнитоэлектрическую и динамоэлектрическую машины Грамма, ртутные насосы, барометръ Менделѣева, его же приборъ для нахожденія коэффиціента расширенія газовъ, ожиженіе газовъ Пикте и другіе. Вмѣстѣ съ тѣмъ, слѣдовало бы выпустить описаніе нѣкоторыхъ снарядовъ, какъ отжившихъ свое время и не имѣющихъ теперь никакого значенія (по крайней мѣрѣ, въ руководствѣ для среднихъ учебныхъ заведеній). Таковы: приборъ Реньо для опредѣленія коэффиціента расширенія газовъ, магнитоэлектрическая машина Штерера, барометръ Фортеня и друг. Къ сожалѣнію, педагогическія преданія держатся весьма упорно, и нужны многіе годы на ихъ измѣненіе, а потому, не желая лишить мою книгу читателей, я не рѣшился посягнуть на исключеніе упомянутыхъ приборовъ.

Изданіе 7-ое полнѣе предыдущихъ, но дополненія сдѣланы преимущественно въ среднемъ шрифтѣ. Содержаніе крупнаго шрифта осталось почти то же самое, что и въ 6-мъ изданіи, именно около 20 печатныхъ листовъ (кромѣ трехъ послѣднихъ прибавленій).

Въ концѣ книги помѣщены четыре прибавленія. Въ I-мъ прибавленіи изложенъ краткій обзоръ химическихъ явленій, въ такомъ, приблизительно, объемѣ, какъ это нужно для пониманія физики; эту статью удобнѣе, по моему мнѣнію, проходить одновременно съ явленіями тепла. Желающихъ основательно ознакомиться съ новѣйшимъ состояніемъ Химіи отсылаю къ сочиненію Менделѣева: *Основы Химіи*.

Прибавленіе II-ое содержитъ описаніе атмосферныхъ явленій; оно заимствовано изъ моей книги: *Начала Космографіи*. Въ новѣйшее время рѣзко обозначился одинъ изъ отдѣловъ метеорологіи—ученіе о погодѣ или темпестологія, важное значеніе которой, если не теперь, то въ будущемъ, признается всѣми; я полагалъ полезнымъ дать краткія о ней свѣдѣнія.

Весьма недавно были сдѣланы весьма важныя открытія въ акустикѣ; три изъ нихъ—фонографъ, телефонъ и микрофонъ, особенно первые два,—пользуются всеобщею извѣстностію. Въ прибавленіи III помѣщено описаніе фонографа и телефона. Я не рѣшился отнести ихъ

къ ученію о звукѣ, гдѣ ихъ настоящее мѣсто, потому что, по причинѣ несовершенствъ въ устройствѣ и неполноты теоріи, они не могутъ имѣть педагогическаго значенія. Я назначаю ихъ для удовлетворенія любознательности учащихся. То же значеніе, съ педагогической точки зрѣнія, я придаю и темнестологіи.

Прибавленіе IV излагаетъ законъ сохраненія энергіи и помѣщено съ тою же цѣлью, т. е. ради удовлетворенія любознательности учащихся. Хотя законъ этотъ долженъ быть поставленъ въ ряду другихъ строго доказанныхъ законовъ природы и представляетъ высокій интересъ, но тѣмъ не менѣе не можетъ служить предметомъ изученія въ среднихъ учебныхъ заведеніяхъ, потому что объясненіе его нельзя считать удовлетворительнымъ.

Нѣкоторые полагаютъ, что въ учебникахъ по физикѣ простые чертежи полезнѣе чѣмъ рисунки, представляющіе приборы и явленія, потому что въ послѣднемъ случаѣ, учащійся, неумѣющій рисовать, затрудняется на экзаменѣ и репетиціи изображать ихъ на доскѣ. Мнѣніе это не вполнѣ справедливо. У опытнаго преподавателя, учащіеся быстро привыкаютъ чертить и достигаютъ, наконецъ, того, что сами, безъ посторонней помощи, легко переходятъ отъ перспективы къ чертежу. Между тѣмъ, весьма немногія учебныя заведенія имѣютъ столь полный физическій кабинетъ, что въ немъ находятся всѣ приборы, описываемые въ учебникѣ. Хорошій рисунокъ тогда безъ сомнѣнія полезнѣе чертежа. Кромѣ того, нѣкоторыя явленія чертежу совершенно не поддаются (наслоеніе свѣта, вольтова дуга, полярное сіяніе и проч.).

Только въ рѣдкихъ случаяхъ, когда преподаватель чертежемъ не владѣетъ, или когда ученикъ проходитъ курсъ безъ помощи учителя,— чертежи полезны, что, однакоже, не исключаетъ необходимости рисунковъ, особенно при неполнотѣ физическаго кабинета или совершенномъ его отсутствіи.

Чтобы помочь учащемуся въ такихъ исключительныхъ условіяхъ, я приложилъ въ концѣ книги двѣ таблицы чертежей. Они занумерованы тѣми же цифрами, что и рисунки въ книгѣ. Было бы совершенно безполезно помѣстить всѣ чертежи, потому что, когда учащійся при-

обрѣлъ нѣкоторый навыкъ, достаточно дать одинъ изъ однородныхъ чертежей. Кромѣ того, въ самомъ руководствѣ есть чертежи (фиг. 76, 439, 444 и проч.) рядомъ съ фигурами. Таблицы останавливаются на гальванизмѣ. Далѣе я не нашелъ ни одного рисунка, который бы могъ затруднять учащагося, предполагая, что онъ перечертилъ всѣ чертежи, относящіеся къ предыдущимъ статьямъ.

СОДЕРЖАНІЕ.

СТРАН.

Введеніе. Вещество. Состояніе тѣлъ. Протяжимость и непроницаемость. Единицы протяженія. Вѣсъ; отвѣсная линія и горизонтальная плоскость; уровень. Единицы вѣса. Масса; плотность. Дѣлимость. Расширяемость и сжимаемость. Скважность. Упругость. Сцѣпленіе. Склеиваніе и спаиваніе. Закаливаніе. Притяженіе. Подвижность. Инерція. Измѣреніе длины. Ноніусъ, верніеръ, микрометрическій винтъ, сферометръ, катетометръ. Расширеніе тѣлъ чрезъ нагрѣваніе. Термометръ; сравненіе термометрическихъ шкалъ . . . . . 1—24

Явленія. Физика и Химія. Изслѣдованіе явленія; силы природы. Наблюденіе, опытъ, гипотеза, теорія. Атомистическая гипотеза . . . . . 24—31

Сложеніе и разложеніе силъ. Силы. Равновѣсіе. Равнодѣйствующая сила. Измѣреніе силъ. Дѣйствіе и противодѣйствіе. Сложеніе и разложеніе силъ, дѣйствующихъ на точку. Сложеніе скоростей. Силы параллельныя . . . . . 31—45

О тяжести. Тяжесть; вѣсъ; центръ тяжести. Равновѣсіе тѣла, подвѣшеннаго въ одной и двухъ точкахъ. Равновѣсіе тѣла, опирающагося на три точки. Равновѣсіе шара и сегмента . . . 45—54

О простыхъ машинахъ. Равновѣсіе прямолинейнаго рычага подъ вліяніемъ параллельныхъ силъ. О равновѣсіи рычага вообще. Вѣсы обыкновенные, Роберваля и римскіе; безменъ; вѣсы децимальные и пружинные. Условія равновѣсія силъ: въ блокѣ, воротѣ, безконечномъ ремнѣ, зубчатыхъ колесахъ, наклонной плоскости, клинѣ и винтѣ . . . . . 54—83

О твердости . . . . . 83—86

Центробѣжная сила. Центробѣжная машина. Вліяніе центробѣжной силы на тяжесть . . . . . 87—91

О плотности. Измѣненіе плотности съ температурой; способъ флакона для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Зависимость между объемомъ, плотностью и вѣсомъ . . 91—95

О жидкостяхъ. Два рода явленій въ жидкостяхъ. Сжимаемость

СТРАН.

жидкостей. Законъ передачи давленія. Видъ жидкой массы, повинующейся взаимному притяженію частицъ. Поверхность вѣсомой жидкости въ спокойномъ состояніи. Давленіе вѣсомой жидкости на дно и стѣнки сосуда. Сегнерово колесо. Сообщающіеся сосуды. Законъ Архимеда. Условіе равновѣсія устойчивости плавающаго тѣла. Приложеніе закона Архимеда къ опредѣленію удѣльнаго вѣса твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Ареометры. Смачиваніе. Сила сцѣпленія въ жидкостяхъ. Волосность. Смѣшиваніе жидкостей. Эндосмозъ и экзосмозъ . . . 95—127

О газахъ. Вѣсъ, давленіе и упругость воздуха. Законъ Маріотта. Законъ парціальнаго давленія. Вѣроятная высота атмосферы. Потеря вѣса тѣлъ въ воздухѣ. Аэростатъ; парашютъ. Барометры: съ чашечкой, сифонный, Менделѣева, Фортеня и Бурдона. Воздушный насосъ. Кранъ Бабинѐ. Ртутный насосъ Менделѣева. Нагнетательный воздушный насосъ. Манометры: со ртутью и металлическій Бурдона. Водолазный колоколъ. Духовыя ружья. Мѣхи. Героновъ шаръ. Героновъ фонтанъ. Водяные насосы. Гидравлическій прессъ. Сифонъ. Ливеръ. Сосудъ Маріотта и аргантова лампа. Пульверизаторъ. О плотности газовъ. Диффузія газовъ. О раствореніи газовъ въ жидкостяхъ . . . . . 127—173

Теплородъ. Нагрѣваніе жидкостей и газовъ. Понятіе о лучистомъ теплородѣ. Теплопроводность. Количество теплорода. Единица теплорода. Опредѣленіе средней температуры при смѣшеніи однородныхъ веществъ. Теплоемкость. Калориметръ Фавра и Зильбермана. Калориметръ Лавуазье и Лапласа. Способъ смѣшенія. Законы теплоемкости твердыхъ тѣлъ, жидкостей и газовъ. Законъ теплоемкости атомовъ . . . . . 173—189

Плавленіе и отвердѣваніе. Кипѣніе и ожиженіе. Испареніе. Скрытый теплородъ при плавленіи. Охлаждающія смѣси. Скрытый теплородъ при кипѣніи и испареніи. Дистиллированіе. Сферондальное состояніе . . . . . 189—203

Способъ Руа и Рамздена для опредѣленія коэффиціента линейнаго расширенія твердыхъ тѣлъ. Опредѣленіе кубическаго расширенія емкости твердыхъ оболочекъ. Абсолютный коэффиціентъ расширенія ртути. Относительное расширеніе жидкостей. Наибольшая плотность воды. Расширеніе газовъ. Топленіе печей и каминовъ. Связь сцѣпленія съ расширеніемъ при нагрѣваніи. Нормальный термометръ. Приготовленіе ртутныхъ термометровъ. Термометръ Брегета. Пирометры . . . . 204—225

Упругость паровъ при кипѣніи. Пары въ пустотѣ. Пары въ состояніи насыщенія. Способы опредѣленія упругости паровъ. Ожиженіе газовъ. Наибольшій искусственный холодъ. Испареніе жидкостей въ газахъ. Плотность паровъ. О влажности. Гигрометры: Даніеля и Реньо. Гигросконъ Соссюра . . . . . 226—240

Котелъ Папина. Машина Уата. Устройство парового котла.

СТРАН.

Понятіе о машинахъ высокаго и низкаго давленій. Машина безъ коромысла. Пароходъ. Локомотивъ. Воздушная и взрывчатая машины . . . . . 240—252

Источники тепла и холода. Теплота небесныхъ тѣлъ. Треніе. Сжатіе. Ударъ. Химическія явленія. Органическая жизнь. 252—259

Магнитизмъ. Магниты естественные и искусственные. Полюсы и точка безразличія. Взаимное дѣйствіе магнитныхъ полюсовъ. Дѣйствіе магнита на желѣзо. Дѣйствіе магнита чрезъ тѣла немагнитныя. Дѣленіе магнита на части. Дѣйствіе магнита на закаленную сталь. Системы магнитовъ; магнитъ Жамена. Гипотеза магнитныхъ жидкостей. О діамагнитизмѣ. Склоненіе и наклоненіе земного магнитизма. Линіи изогоническія и изоклиническія; магнитные полюсы земли . . . . . 259—273

Электричество. Понятіе объ электричествѣ. Проводники и непроводники. Взаимное дѣйствіе наэлектризованныхъ тѣлъ. Два рода электричества. Электроскопъ. Распространеніе электричества по поверхности. Напряженіе электричества. Гипотеза электрическихъ жидкостей. Электричество чрезъ вліяніе. Электрофоръ. Электрическая машина обыкновенная. Электрофорная машина Гольца. Конденсаторъ и приложеніе его въ лейденской банкѣ и электроскопѣ . . . . . 274—296

Гальванизмъ. Электричество при химическихъ явленіяхъ. Термины гальваническаго тока. Гальваническіе элементы. Мультипликаторы и гальванометры. Открытіе гальваническаго тока. Гипотеза соприкосновенія и электрохимическая гипотеза. Сила гальваническаго тока. Сопротивленіе; агометръ; дифференціальная метода. Сопротивленіе гальваническихъ элементовъ. Формула Ома. Сравненіе электровозбудительныхъ силъ. Гальваническія батареи, вольтовъ столбъ. Сухіе столбы. Электроскопъ Фехнера. Коммутаторъ . . . . . 296—331

Дѣйствіе тока на организмъ. Нагрѣваніе. Искра. Вольтова дуга. Химическое дѣйствіе тока. Посредственныя дѣйствія. Поляризація электродовъ. Законы химическихъ разложеній. Количество электричества въ гальваническомъ токѣ. Электрохимическая гипотеза. Гальванопластика. Электромагнитизмъ. Дѣйствіе токовъ на токи. Теорія магнитизма Ампера . . . . 331—352

Понятіе объ электрическихъ телеграфахъ. Телеграфъ Морса. Электромагнитныя машины. Электрическій звонокъ . . . . . 352—359

Возбужденіе индуктированныхъ токовъ помощію гальваническаго тока. Индукція чрезъ магнитизмъ. Токи высшихъ порядковъ. Магнито-электрическая машина Штерера. Магнито-электрическая и динамо-электрическая машины Грамма. Спираль Румкорфа . . . . . 359—376

Опытъ Зеебека. Законы термоэлектрическаго тока. Термоэлектрическія батареи. Термомультипликаторъ . . . . . 376—380

О свѣтѣ. Понятіе о свѣтѣ. Тѣла самосвѣтящіяся и темныя, про-

СТРАН.

зрачныя и непрозрачныя. Гипотезы о свѣтѣ. Распространеніе свѣта въ однородной срединѣ. Лучи свѣта. Тѣнь и полутѣнь. Прохожденіе свѣта чрезъ узкое отверстіе. Скорость и сила свѣта. Фотометры . . . . . 381—389

Отраженіе свѣта. Отраженіе точки и предмета въ одномъ плоскомъ зеркалѣ; въ двухъ зеркалахъ: параллельныхъ и другъ къ другу наклоненныхъ. Отраженіе свѣта въ амальгамированномъ зеркалѣ. Свѣтъ разсѣянный. Отраженіе свѣта въ вогнутомъ сферическомъ зеркалѣ. Перемѣщеніе фокуса. Отраженіе свѣта въ выпукломъ зеркалѣ. Перемѣщеніе фокуса. Построеніе изображеній. Аберрація. Зеркала: цилиндрическія и коническія . . . . . 389—406

Преломленіе свѣта. Полное внутреннее отраженіе. Камера люцида. Преломленіе свѣта въ двояковыпуклой чечевицѣ. Перемѣщеніе фокуса. Преломленіе свѣта въ двояковогнутомъ стеклѣ. Оптическій центръ. Построеніе изображеній. Сферическая аберрація. Камера-обскура. Солнечный микроскопъ. Волшебный фонарь. Опредѣленіе скорости свѣта по Физо . . 406—432

Разложеніе свѣта на цвѣта. Смѣшеніе призматическихъ цвѣтовъ. Видъ тѣлъ, разсматриваемыхъ чрезъ призму. Причина цвѣтовъ тѣлъ природы. Окрашенныя средины. Полихроизмъ. Спектры раскаленныхъ тѣлъ. Спектры поглощенія. Соотношеніе между спектрами раскаленныхъ тѣлъ и спектрами поглощенія. Фраунгоферовы линіи. Гипотезы о составѣ и устройствѣ солнца. Свѣторазсѣяніе. Ахроматическая призма. Ахроматическое и апланатическое стекло . . . . . 432—455

Устройство глаза. Зрѣніе. Почему мы не видимъ предметовъ въ обратномъ видѣ. Подробность зрѣнія. Способность приспособляться. Разстояніе наилучшаго зрѣнія. Близорукость и дальнозоркость. Чувствительность сѣтчатой оболочки. Слѣпая точка. Продолжительность впечатлѣнія. Почему двумя глазами мы не видимъ предметовъ вдвойнѣ. Сужденіе о разстояніи и величинѣ предметовъ. Стереоскопъ. Нѣкоторыя необъясненныя свойства глаза . . . . . 455—466

Очки. Простой микроскопъ. Сложный микроскопъ. Телескопъ Кеплера. Подзорная труба. Труба Галилея. Телескопы: Ньютона и Гершеля . . . . . 466—483

Интерференція. Опытъ Френеля. Диффракція. Цвѣта тонкихъ пластинокъ и ньютоновы кольца. Двойное лучепреломленіе. Поляризація свѣта: чрезъ отраженіе, простое и двойное лучепреломленія; турмалиновые щипцы; призма Николя. Вращеніе плоскости поляризаціи . . . . . 483—494

Лучистый теплородъ. Отраженіе. Преломленіе. Спектръ теплородныхъ лучей. Теплопрозрачность. Разсѣяніе лучей теплоты; теплоцвѣтность. Способности тѣлъ: поглощательная и испускательная . . . . . 494—503

СТРАН.

О химическихъ лучахъ. Фотографія. Спектръ химическихъ лучей. Свойства химическихъ лучей подобны свойствамъ лучей свѣта и тепла. Фосфоресценція и флуоресценція . . . . 503—509

О движеніи. Движеніе равномѣрное и прямолинейное. Движеніе неравномѣрное и криволинейное. Скорость. Ускореніе. Движенія равномѣрноускоренное и равномѣрнозамедленное. Треніе. Сопротивленіе средины. Паденіе въ пустотѣ и въ воздухѣ. Паденіе тѣлъ на машинѣ Атвуда и по наклонной плоскости. Движеніе брошенныхъ тѣлъ . . . . . 509—532

Законы колебанія математическаго маятника въ пустотѣ. Физическій маятникъ. Приложеніе маятника: къ опредѣленію ускоренія при свободномъ паденіи тѣлъ, къ сравненію силъ тяжести и къ регулированію хода стѣнныхъ часовъ. Уравнительный маятникъ . . . . . 532—541

Выводъ формулъ, относящихся до центробѣжной силы . . . 541—544

Измѣреніе силъ количествомъ движенія и произведеніемъ изъ массы на ускореніе. Ударъ между неупругими шарами. Ударъ между упругими шарами. Ударъ шара въ плоскость . 544—551

Вытеканіе жидкостей чрезъ малыя отверстія. Фонтаны. Устройство струи. Волненіе . . . . . 551—555

Дрожаніе частицъ воздуха. Звукъ. Высота, скорость, сила, отраженіе, преломленіе и интерференція звука. Діатоническая гамма. Диссонансъ и гармонія. Длина волнъ. Законы колебанія струнъ. Монохордъ. Сирена. Зубчатое колесо. Узловыя точки. Колебаніе упругихъ пластинокъ. Камертонъ. Колебаніе воздуха въ трубахъ. Отзывчивость. Дека. Второстепенные тоны. Резонаторы. Звонкость . . . . . 555—577

Понятіе о работѣ силъ. Измѣреніе работы. При равномѣрномъ движеніи работа двигателя равна работѣ сопротивленія. Работа полезная и вредная. Измѣреніе силы работою. Работа инерціи . . . . . 577—582

Переходъ работы въ теплоту и обратно; механическій коэффиціентъ теплорода. Механическая гипотеза теплорода . . 582—588

Прибавленіе I. Краткій очеркъ важнѣйшихъ химическихъ явленій. Кислородъ. Простыя и сложныя тѣла. Водородъ. Вода. Хлоръ. Сѣра. Главнѣйшіе законы химическихъ явленій. Азотъ. Фосфоръ. Углеродъ. Бѣлковина и сахаристыя вещества. Обыкновенный спиртъ. Броженіе. Уксусная кислота. Эфиръ. Углеводороды. Замѣчательные металлы и соли . . . . . 589—610

Прибавленіе II. Приложеніе Физики къ объясненію атмосферныхъ явленій. Явленія, зависящія отъ теплорода. Вліяніе атмосферы на нагрѣваніе земной поверхности. Измѣненіе температуры на земной поверхности. Климатъ. Роса и иней. Туманъ и облака. Дождь и снѣгъ. Градъ. Снѣжная линія; лавины и глетчеры. Источники и рѣки. Озера. О вѣтрахъ. Поясъ тишины. Монсуны и бризы. Мѣстные вѣтры. Ураганъ.

СТРАН.

Смерчъ. Вліяніе вѣтровъ и рельефа суши на выпаденіе метеорической воды. Атмосферное электричество. Полярныя сіянія. Оптическіе метеоры. Голубой цвѣтъ неба. Изъ-за-облачныя сіянія. Заря. Миражъ. Радуга. Вѣнчики. Цвѣтные и безцвѣтные круги. Понятіе о темпестологіи . . . . . 610—649
Прибавленіе III. Фонографъ. Телефонъ . . . . . 649—654
Прибавленіе IV. Сохраненіе энергіи . . . . . 655—660

Скобки [ ] съ поставленнымъ въ нихъ числомъ означаютъ ссылку на одинъ изъ предыдущихъ или послѣдующихъ параграфовъ.

Необходимо исправить слѣдующія опечатки.

Стран.	Строка.	Напечатано.	Слѣдуетъ читать.
19	2 сверху	перемѣстить	перемѣститъ
20	11 »	тогутъ	могутъ
21	2 снизу	дѣленія	дѣленіи
36	19 сверху	*MB* и *MB*	*MA* и *MB*
41	4 снизу	натягиваемыхъ	натягиваемымъ
43	17 сверху	*P* и *R*	P_1 и *R*
63	7 »	MCA_1	MC_1A_1
—	32 »	величны	величины
76	18 снизу	въ окружности	къ окружности
83	28 »	полиспатовъ	полиспастовъ
84	10 »	*разлому, прута*	*разлому прута,*
113	6 сверху	равноповѣсія	равновѣсія
150	16 »	измѣряетгя	измѣряется
151	10 снизу	Ели	Если
154	10 сверху	оправѣ *b*	оправѣ *m*
159	6 »	въ въ стволъ	въ стволъ
167	19 »	фиг. 241	фиг. 239
174	14 снизу	притекающемъ	притекающимъ
179	19 »	фиг. 250	фиг. 251
—	18 »	фиг. 251	фиг. 250
183	18 и 19 сверху	калометромъ	калориметромъ
185	12 снизу	Фарва	Фавра
187	5 сверху	термогетра	термометра
190	8 »	Дюпре	Депре́
194	6 снизу	тмпературу	температуру
197	7 и 6 »	топлородъ	теплородъ
206	12 »	l_0+l_0kl	l_0+l_0kt
229	20 сверху	сдержащійся	содержащійся
245	4 снизу	фиг. 291	фиг. 292
—	3 »	фиг. 294	фиг. 295
246	11 »	азныя	разныя
—	1 »	фиг. 294	фиг. 295
265	4 сверху	естественнонъ	естественномъ
271	9 снизу	вь средѣ діамагнитной	въ средѣ магнитной
278	15 сверху	фиг. 328	фиг. 327
283	7 »	станется	останется

Стран.	Строка.	Напечатано.	Слѣдуетъ читать.
292	1 снизу	фиг. 345	фиг. 347
293	14 »	фиг. 348	фиг 347,
294	19 »	бамагѣ	бумагѣ
298	12 сверху	пуговка A	пуговка h
305	6 »	k	h
310	1 снизу	фиг. 384	фиг. 388
332	17 »	при соблюденія	при соблюденіи
346	10 »	опытбвъ	опытовъ
351	8 и 7 снизу	трути	ртути
365	24 »	четвертою y	четвертою u
374	15 »	смѣщеніе	смѣшеніе
387	10 »	am	an
390	18 сверху	Ll'	$L'l'$
401	14 снизу	отъ зеркала	отъ середины зеркала
403	1 »	вь 1омь	въ этомъ
413	5 и 4 »	обратное	обратное:
414	12 сверху	двояковыпуклом	двояковыпуклом
423	8 снизу	Sa_1	S_1a_1
431	3 »	зеркала m	зеркала A
435	18 »	внутренне	внутреннее
455	10 »	*свѣтчатая*	*сѣтчатая*
462	13 »	фиг. 565	фиг. 566
—	9 »	фиг. 566	фиг. 565
468	1 »	$\frac{m}{}+1$	$\frac{m}{F}+1$
488	5 сверху	обыкновенный	необыкновенный
499	14 снизу	называется	называются
520	14 »	$-kr^2$	$-k^2r$
528	15 сверху	станемъ	станетъ
529	6 снизу	n / p	$\frac{p}{n}$
532	10 сверху	менѣе	болѣе
533	3 »	$\frac{p}{q}$, откуда $p=q\sin\alpha$	$\frac{q}{p}$, откуда $q=p\sin\alpha$
553	5 снизу	$\sqrt{2hg}\ \frac{h}{z}$	$\sqrt{2gz}\ \frac{h}{z}$
567	1 »	1119,4	1118,4
576	10 »	гласныхъ	согласныхъ
—	7 »	согласныхъ	гласныхъ
581	2 сверху	mebile	mobile
606	10 »	Плямя	Пламя
629	2 снизу	ураган-	урагана
648	17 сверху	усилій	условій
652	20 снизу	наблюдаемымъ	наблюдаемыхъ

ОТДѢЛЪ I.

ВВЕДЕНІЕ.

1. Вещество. Безграничное пространство вселенной заключаетъ въ себѣ множество *тѣлъ* или предметовъ, которыхъ совокупность составляетъ *природу* или *видимый міръ*.

Мы можемъ познавать природу только чрезъ впечатлѣніе на наши органы чувствъ; для отдаленныхъ предметовъ мы пользуемся зрѣніемъ и слухомъ; для близкихъ, кромѣ этихъ чувствъ,—еще осязаніемъ, обоняніемъ и вкусомъ.

То, изъ чего тѣла состоятъ, называется *матеріею* или *веществомъ*. Вещество разныхъ тѣлъ не одинаково; даже у одного и того же тѣла не рѣдко можно замѣтить разнородность образующей его матеріи: вещество ствола растенія, наприм., не то же самое, что листьевъ, или цвѣтовъ; изъ гранита можно выдѣлить слюду, полевой шпатъ и кварцъ. Хотя есть множество такихъ тѣлъ, которыя кажутся на видъ однородными, однако и они почти всегда состоятъ изъ разныхъ веществъ; такъ, бѣлый мраморъ состоитъ изъ углерода, металла кальція и кислорода. Извѣстны 68 веществъ, неразложенныхъ до сихъ поръ на составныя части, и изъ которыхъ состоятъ всѣ тѣла природы; они называются *простыми тѣлами* или *элементами*; таковы: кислородъ, водородъ, азотъ, хлоръ, углеродъ, сѣра, фосфоръ, желѣзо, серебро, мѣдь и проч. Простыя тѣла рѣдко встрѣчаются въ природѣ отдѣльно, но обыкновенно въ соединеніяхъ по два, по три и болѣе.

Всякій вещественный предметъ называется *физическимъ* или *естественнымъ тѣломъ*, въ отличіе отъ геометрическаго и всякаго другого воображаемаго предмета; такимъ образомъ, луна, слонъ, дерево, гранитъ, вода, воздухъ и проч. суть естественныя тѣла.

2. Состояніе тѣлъ. Вещество можетъ быть въ трехъ *состояніяхъ*: *твердомъ*, *жидкомъ* и *газообразномъ*.

1) Части твердаго тѣла соединены между собою столь крѣпко, что для разъединенія ихъ потребно усиліе, иногда чрезвычайно большое; отъ этого, твердыя тѣла обладаютъ *твердостью*, болѣе или менѣе значительною, и сохраняютъ ту форму, какую имъ дали природа или искусство. Сюда принадлежатъ: дерево, камни, металлы и проч.

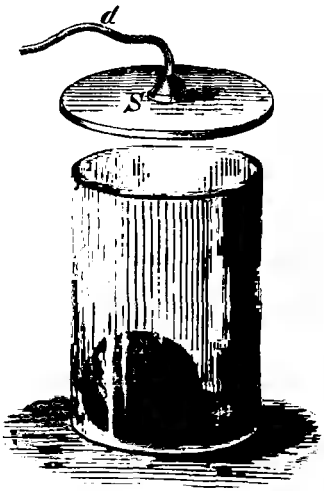
2) Въ противоположность твердымъ тѣламъ, жидкости вовсе не имѣютъ твердости, потому что части ихъ соединены между собою весьма слабо; чтобы отдѣлить отъ жидкости нѣкоторую ея часть, нужно весьма слабое усиліе, незамѣтное для нашихъ чувствъ. Въ этомъ отношеніи жидкости подобны сыпучимъ веществамъ, каковы: макъ, горохъ и вообще собраніе весьма малыхъ твердыхъ тѣлъ, которыя ни чѣмъ между собою не связаны. Кромѣ того, частицы жидкости *удобоподвижны*, то есть легко могутъ перемѣщаться; это свойство жидкостей называется *текучестью*. Сыпучія вещества также текучи, но не вполнѣ; отъ этого, сыпучее вещество можетъ имѣть видъ кучи, что для жидкости невозможно. Итакъ, жидкости отличаются отсутствіемъ всякой твердости и обладаютъ текучестью. По причинѣ этихъ свойствъ, онѣ не имѣютъ опредѣленной формы и принимаютъ форму сосуда или другого вмѣстилища, въ которые онѣ налиты. Таковы: вода, спиртъ, масло и проч.

3) Газообразное состояніе замѣчается въ воздухѣ, кислородѣ, водородѣ, азотѣ и другихъ подобныхъ тѣлахъ, называемыхъ вообще *газами*. Газъ не только не оказываетъ никакого сопротивленія, когда разъединяютъ его части, но еще *стремится занять большее пространство* или увеличиться въ объемѣ, и дѣйствительно увеличивается, если нѣтъ тому препятствій. Поэтому, газы можно сохранять только въ закрытыхъ со всѣхъ сторонъ сосудахъ. Въ этомъ свойствѣ газовъ можно убѣдиться посредствомъ особаго прибора, называемаго *пневматической машиной**). Берутъ каучуковый мѣшокъ или пузырь r (фиг. 1), завязываютъ отверстіе, чтобы прекратить сообщеніе съ воздухомъ, и кладутъ въ стеклянный сосудъ. Сосудъ плотно покрываютъ крышкой S съ отверстіемъ, въ которое вдѣлана гибкая свинцовая или каучуковая трубка d; другой конецъ этой трубки сообщаютъ съ пневматической машиной. Воздухъ, содержащійся въ пузырѣ, стремится во всякое мгновеніе расшириться и растянуть пузырь, и дѣйствительно растянулъ бы и даже разорвалъ его, если бы этому не препятствовалъ воздухъ въ сосудѣ, который также стремится расшириться и занять мѣсто пузыря. Если же воздухъ изъ сосуда удалять, дѣйствуя пневматической машиной, то пузырь раздувается, хотя бы содержалъ въ себѣ весьма малое количество воздуха.

*) Описана ниже [134].

Одно и то же тѣло можетъ быть во всѣхъ трехъ состояніяхъ; такъ, вода при охлажденіи переходитъ въ ледъ, а при нагрѣваніи обращается въ пары.

3. Протяжимость и непроницаемость. Съ понятіемъ о вещественномъ тѣлѣ необходимо соединяется представленіе о его *протяжимости* и *непроницаемости*. Протяжимостью называется свойство тѣлъ занимать какую нибудь часть пространства, какъ бы они малы ни были. Это свойство столь очевидно, что не требуетъ доказательства.



Фиг. 1.

Непроницаемостью называется свойство тѣлъ, по которому два или болѣе тѣла не могутъ находиться, въ одно и то же время, въ одномъ мѣстѣ. Въ самомъ дѣлѣ, нельзя поставить одно твердое тѣло въ какое нибудь мѣсто, гдѣ находится уже другое тѣло, не вытѣснивъ этого послѣдняго. Если вырыть яму, чтобы закопать камень, то часть извлеченной земли не войдетъ назадъ въ яму. Когда вколачиваемъ гвоздь въ бревно, то части дерева раздвигаются, уступая мѣсто гвоздю. Если въ стаканъ, наполненный до краевъ водою, опустимъ какое нибудь твердое тѣло, то жидкость перельется чрезъ края стакана, причемъ объемъ вытекшей жидкости будетъ равенъ объему погруженнаго тѣла. Воздухъ, подобно всѣмъ прочимъ газамъ, также непроницаемъ; если въ чашку съ водою погрузить пустую бутылку (фиг. 2), то вода будетъ вливаться въ бутылку, а вытѣсняемый оттуда воздухъ станетъ подыматься въ видѣ пузырьковъ на поверхность жидкости.

Фиг. 2.

Вотъ еще опытъ (фиг. 3). Нальемъ воды въ сосудъ AB до высоты CD, потомъ возьмемъ стеклянную трубку EP и, закрывъ пальцемъ конецъ ея E, будемъ погружать другимъ открытымъ концомъ P въ сосудъ; вода въ трубкѣ будетъ опускаться и остановится у точки m, ниже уровня жидкости въ сосудѣ, вслѣдствіе непроницаемости воздуха. Чтобы яснѣе видѣть уровень m воды, кладутъ на поверхность ея кусокъ пробки. Какъ скоро примемъ палецъ отъ конца E, то жидкость въ трубкѣ EP подымется до CD и вытѣснитъ воздухъ.

4. Единицы протяженія. Для измѣренія протяженія употребля-

ются разныя единицы. Въ Россіи за единицу длины принимается *аршинъ*, раздѣляемый на 16 вершковъ; 3 аршина составляютъ сажень; 500 сажень равны верстѣ. Еще подраздѣляютъ сажень на 7 русскихъ футовъ; футъ содержитъ 12 русскихъ дюймовъ; дюймъ—10 русскихъ линій. Въ Англіи употребляется мѣра *ярдъ*, равный 3 англійскимъ *футамъ*. Во Франціи существуютъ двѣ системы мѣръ протяженій. Въ одной—главная единица *парижскій футъ*; 6 футовъ составляютъ туазъ; футъ раздѣляется на 12 дюймовъ; дюймъ—на 12 парижскихъ линій. Въ другой, метрической или десятичной, системѣ принятъ за основаніе *метръ* *), равный десятимилліонной долѣ четверти земного меридіана; $^1/_{10}$ метра называется десиметромъ, $^1/_{100}$—сантиметромъ, $^1/_{1000}$—миллиметромъ; 1000 метровъ составляютъ километръ. Мѣры поверхности и объема имѣютъ тѣ же названія, что и линейныя. Такимъ образомъ, употребляются: квадратные и кубическіе аршины, футы, метры, сантиметры и проч. Кромѣ того, принимаются: въ Россіи — *десятина*= 2400 кв. сажень; въ Англіи—*акръ*; во Франціи—*гектаръ* и пр. Для емкости въ Россіи—*ведро*=объему 30 фунтовъ чистой воды **); *четверикъ*=объему 64 фунтовъ воды; въ Англіи—*галлонъ*; во Франціи—*литръ*=одному кубическому десиметру, гектолитръ=100 литрамъ.

Употребляемыя въ общежитіи единицы мѣры приготовляются по нормальнымъ образцамъ, которые тщательно предохраняютъ отъ случайнаго или умышленнаго измѣненія въ величинѣ.

Внутренній объемъ сосуда называется его емкостью.

Сравнительная таблица мѣръ.

1 рус. или анг. футъ	=	0,93829	фран. фута	=	0,30479 метра
1 фран. футъ	=	1,06577	рус. фута	=	0,32484 метра
1 метръ	=	3,28090	рус. фута	=	3,07844 фр. фута
1 десятина	=	1,09250	гектара	=	2,69972 акра
1 гектаръ	=	0,91533	десятины	=	2,47114 акра
1 акръ	=	0,37041	десятины	=	0,40467 гектара
1 ведро	=	0,1230	гектолитра	=	2,7070 галлона
1 гектолитръ	=	8,1308	ведра	=	22,0097 галлона
1 галлонъ	=	0,3694	вед.	=	0,0454 гектол.

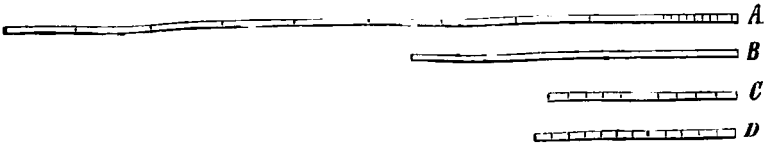
Изъ таблицы видно, что метръ приблизительно равенъ $3^1/_3$ фута или $22^1/_2$ вершка.

Футы обозначаютъ знакомъ (′), дюймы — (″), линіи — (‴). метры—(^{m}) и миллиметры—(^{mm}). Такимъ образомъ, выраженія 1′2″3‴,

*) Введенъ въ концѣ прошедшаго столѣтія.
**) При температурѣ $13^1/_2{}^0$ по термометру Реомюра.

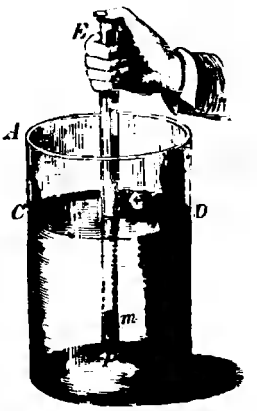
и $2^m\ 27^{mm}$ должно читать: одинъ футъ два дюйма три линіи и два метра двадцать семь миллиметровъ.

Фигура 4 изображаетъ натуральную величину главныхъ единицъ длины: *A* — десиметра, раздѣленнаго на сантиметры и миллиметры, *B*—вершка, *C*—русскаго и *D*—французскаго дюймовъ съ подраздѣленіемъ на линіи.



Фиг. 4.

5. Вѣсъ; ОТВѢСНАЯ ЛИНІЯ И ГОРИЗОНТАЛЬНАЯ ПЛОСКОСТЬ. Прикрѣпимъ одинъ конецъ *a* (фиг. 5) нити *ab* къ чему нибудь неподвижному, или будемъ держать въ рукѣ, а къ другому *b* привѣсимъ гирю *p*; тогда замѣтимъ, что нить натянется по прямой линіи *ab*. Если нить не довольно крѣпка, то гиря ее оборветъ и станетъ падать по прямой линіи *bc*, служащей продолженіемъ нити *ab*. Отсюда видимъ, что гиря *p* имѣетъ стремленіе *падать*; то же стремленіе видимъ у всѣхъ земныхъ предметовъ. Чтобы удержать тѣло отъ паденія, надо либо привѣсить его, либо поставить на что нибудь неподвижное. Какъ скоро нить оборвется, или подставка обрушится, тѣло станетъ падать. Сила, съ которою земные предметы влекутся къ паденію, называется *вѣсомъ*. Итакъ, *всѣ земные предметы вѣсомы*, т. е. *имѣютъ вѣсъ*. Когда предметъ подпертый или привязанный не падаетъ, то подставка, на которую предметъ опирается, испытываетъ *давленіе*, а нить, на которой предметъ виситъ, *натягивается* и производитъ давленіе на то, къ чему она прикрѣплена, или, какъ обыкновенно говорятъ, давитъ на *точку привѣса*.



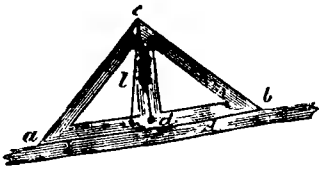
Фиг. 3.

Фиг. 5.

Направленіе, по которому предметъ, ничѣмъ не удерживаемый, падаетъ, называется *отвѣсною* или *вертикальною* линіею; направленіе нити, натягиваемой гирею, совпадаетъ также съ отвѣсною линіею. Всякая плоскость, перпендикулярная къ этой линіи, называется *горизонтальною*; прямая линія, перпендикулярная къ отвѣсной, также назы-

вается горизонтальной. Плоскость, проведенная чрезъ вертикальную линію, называется вертикальной или отвѣсной; прямая линія, параллельная вертикальной, также называется вертикальной или отвѣсной.

Повѣрить, приведено ли тѣло въ горизонтальное положеніе, можно помощію *плотничьяго ватерпаса*. Онъ состоитъ изъ равнобедреннаго треугольника *abc* (фиг. 6), по направленію высоты котораго сдѣланъ нарѣзъ *cd*; къ вершинѣ *c* треугольника привязана нить *l* съ гирькой на концѣ. Когда хотятъ испытать, горизонтальна ли доска *A*, то на нее по двумъ различнымъ направленіямъ ставятъ основаніе треугольника *abc*. Если нить *l* каждый разъ совпадаетъ съ нарѣзомъ *cd*, то *A* находится въ горизонтальномъ положеніи.



Фиг. 6.

Горизонтальность плоскости можно также провѣрить посредствомъ *ватерпаса съ пузырькомъ* или *уровня*—прибора, несравненно болѣе точнаго, чѣмъ предыдущій. Главнѣйшая часть его есть стеклянная трубка (фиг. 7), вставленная въ металлическую оправу *ab* и немного выпуклая кверху; вся трубка наполняется спиртомъ или сѣрнымъ эфиромъ, кромѣ небольшого пузырька *c*. Приборъ ставятъ на плоскость по разнымъ направленіямъ; если пузырекъ *c* постоянно находится противъ середины трубки, то изслѣдуемая плоскость горизонтальна.

Фиг. 7.

6. Единицы вѣса. Для измѣренія вѣса тѣлъ, принимаютъ нѣкоторый вѣсъ за единицу мѣры. Въ Россіи употребляется *фунтъ*, подраздѣляемый на 96 золотниковъ, изъ которыхъ каждый имѣетъ 96 долей; 40 фунтовъ составляютъ пудъ. Во Франціи основная единица — *граммъ*; такъ называется вѣсъ одного кубическаго сантиметра чистой воды *). Онъ подраздѣляется на 10 десиграммовъ, 100 сантиграммовъ и 1000 миллиграммовъ. 1000 граммовъ составляютъ килограммъ. Одинъ килограммъ на наши мѣры равенъ 2,4419 или приблизительно $2^1/_2$ фунта; одинъ граммъ—$22^1/_2$ доли.

7. Масса; плотность. Количество матеріи, заключенной въ какомъ либо тѣлѣ, называется *массою* этого тѣла.

Всякое вещество, напр. воду, муку, желѣзо и проч., можно измѣрять двоякимъ образомъ: либо объемомъ, либо вѣсомъ. Два равные объема одного и того же вещества, напр. воды, очевидно, содержатъ равныя количества матеріи и имѣютъ одинаковый вѣсъ; двойной объемъ заключаетъ вдвое болѣе вещества, которое также вдвое болѣе вѣситъ; и вообще количество однородной

*) При температурѣ 4° по термометру Цельсія.

матеріи пропорціонально ея объему и ея вѣсу. Слѣдовательно, два количества однороднаго вещества можно измѣрять чрезъ сравненіе и объема, и вѣса. Это правило не примѣняется, когда требуется сравнить количества разнородныхъ веществъ, ибо различныя вещества, взятыя въ равныхъ объемахъ, имѣютъ разный вѣсъ, а, имѣя одинаковый вѣсъ, занимаютъ разные объемы. Такъ, одинъ кубическій дюймъ воды вѣситъ 3,84 золотника, а золота — 74 золотника. Въ этомъ случаѣ мы не имѣемъ средствъ рѣшить, какія количества матеріи должно считать равными. Если принять, что одинаковые объемы содержатъ одно и то же количество матеріи, какова бы она ни была, мы должны будемъ вмѣстѣ съ тѣмъ допустить, что разныя вещества не одинаково *вѣски*, или что они имѣютъ разное стремленіе падать на землю. Полагая напр. количество золота въ одномъ кубическомъ дюймѣ равнымъ количеству воды того же объема, необходимо принять, что вещество золота имѣетъ большее стремленіе къ землѣ, нежели вода, во столько разъ, во сколько 74 болѣе 3,84, т. е. въ 19 слишкомъ разъ. Или можно считать равными количества матеріи, имѣющія одинаковый вѣсъ; тогда надо предположить, что всѣ вещества одинаково вѣски, но различно сгущены въ разныхъ тѣлахъ. Такъ, вещество золота въ 19 разъ гуще вещества воды, и во столько же разъ тяжелѣе при одинаковыхъ объемахъ. Такъ какъ вѣсъ можно измѣрить съ большею точностью, чѣмъ объемъ, то принимаютъ второе предположеніе, т. е. что

Масса тѣла пропорціональна его вѣсу; иначе сказать: во сколько разъ вѣсъ одного тѣла болѣе вѣса другого, во столько же разъ количество матеріи, заключенной въ первомъ тѣлѣ, болѣе количества матеріи во второмъ. То изъ двухъ тѣлъ считаютъ болѣе плотнымъ, которое, въ одной и той же единицѣ объема, содержитъ болѣе матеріи. Число, показывающее, во сколько разъ какое либо тѣло содержитъ матеріи болѣе, нежели другое, взятое въ томъ же объемѣ, называется *плотностью* или *удѣльнымъ вѣсомъ*. Всѣ тѣла сравниваются съ однимъ и тѣмъ же веществомъ, именно съ водою; такимъ образомъ, если говорятъ, что плотность золота есть 19, то это значитъ, что золото содержитъ матеріи въ 19 разъ болѣе, нежели вода при томъ же объемѣ. Такъ какъ количество матеріи прямо пропорціонально ея вѣсу, то предыдущее опредѣленіе удѣльнаго вѣса можно замѣнить слѣдующимъ: *удѣльный вѣсъ есть отношеніе вѣса тѣла къ вѣсу воды, въ томъ же объемѣ*. Поэтому, для нахожденія удѣльнаго вѣса какого либо тѣла, надо взвѣсить это тѣло и воду въ равныхъ объемахъ и раздѣлить первый вѣсъ на второй; частное будетъ искомый удѣльный вѣсъ. Наприм. кубич. дюймъ золота вѣситъ 74 золотн., а кубическій дюймъ воды 3,84 золотн.; раздѣливъ 74 на 3,84, найдемъ 19— удѣльный вѣсъ золота.

8. Дѣлимость. Каждое физическое тѣло, посредствомъ остраго инструмента, молота или другихъ способовъ можно дробить на части, которыя въ свою очередь дѣлятся на новыя части и т. д. Опытъ не

показываетъ, чтобы такому дѣйствію былъ предѣлъ, то есть, чтобы существовали такія малыя частицы, которыя бы нельзя было болѣе дѣлить. Хотя отсюда еще не слѣдуетъ, что вещественные предметы дѣлимы до безконечности, тѣмъ не менѣе дѣлимость вещества простирается иногда весьма далеко. При помощи дѣлительныхъ приборовъ можно 1''' раздѣлить на 1000 равныхъ частей; эти дѣленія столь малы, что могутъ быть различаемы только при помощи особаго увеличивающаго снаряда — *микроскопа*. Платиновую проволоку можно сдѣлать толщиною въ $^1/_{3000}$ линіи; хотя платина плотнѣе всѣхъ тѣлъ природы, однакожъ 35 верстъ такой проволоки вѣсятъ менѣе одного золотника; будь она достаточно тверда, то, проколовъ ею насквозь животное, мы не причинили бы ему никакого вреда. Изъ желѣза приготовляютъ пластинки толщиною въ 0,001 линіи, а изъ золота—только въ 0,0001, такъ что червонецъ можно расплющить въ квадратъ, котораго каждая сторона будетъ около 4 футовъ. Двумя долями кармина замѣтно окрашивается ведро воды. Мыльные пузыри, представляющіе весьма яркіе цвѣта, имѣютъ столь тонкую оболочку, что толщина ея при вершинѣ пузыря менѣе $^1/_{20000}$ линіи; крылья насѣкомыхъ почти такъ же тонки. Человѣческая кровь состоитъ изъ жидкости, наполненной шариками, которые такъ малы, что въ каплѣ крови, висящей на остріѣ иглы, заключается ихъ около милліона. Запахъ потому только и ощущается нами, что пахучія вещества постоянно отдѣляютъ отъ себя мельчайшія частицы, которыя, достигнувъ до нашего органа обонянія, производятъ впечатлѣніе; не смотря на то, многія пахучія вещества не представляютъ замѣтнаго уменьшенія въ вѣсѣ, по истеченіи долгаго промежутка времени. Помощію сильныхъ микроскоповъ были открыты въ водѣ, воздухѣ и другихъ веществахъ чрезвычайно малыя животныя, называемыя *инфузоріями*; они живутъ, слѣдовательно, внутри ихъ движутся жидкости, которыя необходимо должны дѣлиться на части.

Свойство дѣлиться на части принадлежитъ всѣмъ тѣламъ безъ исключенія и называется *дѣлимостью*, а мельчайшія доли, на которыя тѣло можно раздробить,—*матеріальными частицами*.

9. Расширяемость и сжимаемость. Всѣ тѣла природы сжимаемы и расширяемы въ большей или меньшей степени. Сильнымъ давленіемъ можно уменьшить объемъ газа въ 100 разъ и болѣе; жидкости сжимаемы весьма мало, такъ что ихъ долго считали вовсе несжимаемыми; твердыя тѣла сжимаемы еще менѣе *).

---

*) Желѣзный столбъ въ сажень высоты и 12 дюймовъ въ діаметрѣ укорачивается если положить на него 11 тысячъ пудовъ, только на 0,01 дюйма.

10. Скважность. Матерія, образующая какое либо тѣло, не наполняетъ его непрерывно, но оставляетъ незанятыми небольшія пространства, которыя называются *скважинами* или *порами*; а такое свойство тѣлъ—*скважностью*. Различаютъ два рода поръ: однѣ видны простымъ глазомъ, или съ помощію микроскопа, какъ въ грецкой губкѣ, пемзѣ, бумагѣ; другія, называемыя порами физическими, чрезвычайно малы и не могутъ быть непосредственно наблюдаемы. Въ существованіи этихъ невидимыхъ поръ убѣждаютъ насъ многія явленія. Если бросить въ воду кусокъ мѣлу, то поверхность его покрывается пузырьками, которые состоятъ изъ воздуха, находившагося прежде въ порахъ мѣла и вытѣсненнаго оттуда водою. Флорентинскіе академики въ концѣ XVII столѣтія, желая испытать сжимаемость воды, заключили эту жидкость въ закрытый со всѣхъ сторонъ золотой сосудъ и ударяли потомъ по стѣнкамъ его молотомъ; они полагали, что, если вода несжимаема, то невозможно будетъ вдавить стѣнки золотого сосуда; оказалось однакожъ, что при каждомъ ударѣ стѣнки вдавливались. Изъ этого конечно нельзя заключить, что вода сжимаема, потому что стѣнки золотого сосуда, испытывая изнутри давленіе воды, должны были растянуться. Этотъ напрасный опытъ флорентинскихъ ученыхъ не имѣлъ бы никакого значенія въ наукѣ, если бы не было при этомъ открыто неожиданное явленіе: сжатая въ своей оболочкѣ, вода просочилась чрезъ стѣнки и явилась на наружной поверхности золотого сосуда въ видѣ капель, на подобіе росы. Такимъ образомъ, была доказана скважность золота, по крайней мѣрѣ въ ту пору, когда оно бываетъ нѣсколько растянуто. Опыты были повторены съ другими металлами, и найдены тѣ же результаты. — Платина, накаленная добѣла, легко пропускаетъ чрезъ себя газы. Сильнымъ давленіемъ можно пропустить ртуть чрезъ дерево, кожу и проч. Если смѣшать спиртъ съ водою, то объемъ смѣси будетъ менѣе суммы объемовъ спирта и воды, чего бы не могло быть, если бы эти жидкости не были скважны. Наконецъ, скважность несомнѣнно доказывается тѣмъ, что всѣ тѣла природы въ большей или меньшей степени сжимаемы.

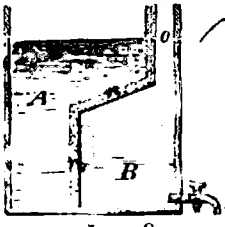
Приложенія. Скважность нѣкоторыхъ тѣлъ служитъ средствомъ къ очищенію жидкостей; сюда принадлежатъ между прочимъ: уголь, скважистый камень, пропускная или непроклеенная бумага. Частицы жидкости проходятъ въ порахъ скважистаго тѣла, между тѣмъ какъ посторонніе вещества задерживаются. На этомъ основаны фильтрованіе и водочистительныя машины.

Фильтрованіе производится такъ: берутъ пропускную бумагу, вырѣзываютъ изъ нея кругъ, дѣлаютъ въ немъ нѣсколько складокъ

и потомъ опускаютъ въ воронку, какъ это показано на фигурѣ 8. Въ сложенную такимъ образомъ бумагу или *фильтру* вливаютъ жидкость, которую хотятъ очистить отъ постороннихъ твердыхъ примѣсей. Жидкость просачивается чрезъ поры бумаги и стекаетъ въ чистый сосудъ, а твердыя частицы остаются на фильтрѣ.

Фиг. 8.

Водочистительныя машины состоятъ изъ сосуда (фиг. 9), который разгороженъ ноздреватымъ камнемъ *rr* на два вмѣстилища *A* и *B*; въ *A* наливаютъ воды, которая просачивается чрезъ камень *rr* въ отдѣленіе *B*, вытѣсняетъ оттуда въ отверстіе *O* воздухъ и выпускается посредствомъ крана *p*. Лучше всего очищаетъ воду отъ постороннихъ примѣсей уголь: самая грязная вода, какая напримѣръ бываетъ весною въ лужахъ, на улицѣ, будучи пропущена чрезъ уголь, дѣлается безцвѣтной и теряетъ свой непріятный запахъ, а красное вино и чернила становятся безцвѣтными.



Фиг. 9.

11. Упругость. Если какое нибудь тѣло сожмемъ, погнемъ или вообще измѣнимъ его форму и потомъ предоставимъ самому себѣ, то оно стремится принять прежній видъ; это свойство, принадлежащее всѣмъ тѣламъ въ большей или меньшей степени, называется *упругостью*. Упругостью называютъ также силу, съ которою тѣла стремятся принять прежнюю форму. Газы совершенно упруги: какъ бы сильно мы ни сжали или ни расширили газъ, и какъ бы долго ни продержали его въ этомъ состояніи, онъ тотчасъ принимаетъ первоначальный объемъ, какъ скоро удалимъ причину, измѣнявшую этотъ объемъ. Жидкости сжимаемы весьма мало, но также совершенно упруги. Твердыя тѣла упруги только до извѣстной степени, различной для каждаго тѣла. У однихъ можно значительно измѣнить форму, которую они снова принимаютъ, лишь только ихъ предоставить самимъ себѣ; сюда принадлежатъ: каучукъ, упругая сталь, камышъ и проч. Другія тѣла, напротивъ, тогда только возвращаются къ прежней формѣ, когда испытали весьма малое измѣненіе; таковы: свинецъ, олово, желѣзо и проч. Первыя тѣла называются *упругими*, вторыя — *неупругими*. Такимъ образомъ, тѣ и другія различаются только *предѣломъ* упругости; если измѣненія формы не перешло этотъ предѣлъ, то тѣло возвращается къ естественному своему виду. Предѣлъ упругости зависитъ отъ времени, въ продолженіе котораго заставляютъ тѣло быть

въ измѣненномъ видѣ; чѣмъ это время болѣе, тѣмъ предѣлъ упругости ближе къ первоначальной формѣ тѣла. Нѣкоторыя тѣла, не достигнувъ предѣла упругости, ломаются; напр. стекло, закаленная сталь, сухое дерево и проч. Такія тѣла называются *хрупкими*.

12. Сцѣпленіе. *Сцѣпленіе* есть сила, съ которою частицы какого либо твердаго или жидкаго тѣла стремятся пребывать въ опредѣленномъ разстояніи другъ отъ друга и оказываютъ сопротивленіе, когда хотятъ ихъ разъединить. Въ твердыхъ тѣлахъ эта сила столь велика, что для преодолѣнія ея требуется иногда чрезвычайно большое усиліе. Что между частицами жидкости есть сцѣпленіе, доказываютъ многія явленія: капля ртути, налитая на столъ, не разсыпается на отдѣльныя частицы, но принимаетъ форму шарика; двѣ такія сближенныя капли соединяются и образуютъ одну. Мыльные пузыри сохраняютъ нѣкоторое время свою форму, только вслѣдствіе сцѣпленія частицъ мыльной воды.

Сила сцѣпленія дѣйствуетъ только при незначительномъ разстояніи между частицами. На этомъ основано объясненіе, почему два твердыя тѣла, будучи сложены своими сторонами, не образуютъ одного тѣла. Если приведенныя въ соприкосновеніе стороны суть плоскости, то, какъ бы онѣ ни были хорошо отполированы, нельзя ихъ сложить такъ, чтобы всѣ частицы одной плоскости коснулись частицъ другой; прикосновеніе произойдетъ по крайней мѣрѣ въ трехъ точкахъ; что же касается прочихъ, несоприкасающихся частицъ, то сцѣпленіе между ними будетъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ разстояніе между частицами менѣе, другими словами — чѣмъ плоскости лучше отполированы. И дѣйствительно, хорошо отполированныя стеклянныя пластинки оказываютъ довольно значительное сопротивленіе, когда ихъ отдѣляютъ одну отъ другой. Сцѣпленіе будетъ еще сильнѣе, если между ними впустить тонкій слой жидкости, которая наполняетъ собою углубленія въ пластинкахъ и такимъ образомъ сглаживаетъ ихъ неровности.

13. Склеиваніе и спаиваніе. Если твердое тѣло, напр. деревянную палку, разломить на двѣ части, то онѣ, будучи сложены въ томъ мѣстѣ, гдѣ сдѣланъ изломъ, не составятъ опять одного тѣла. Это явленіе объясняется такимъ образомъ. При разламываніи, частицы измѣняютъ свое относительное положеніе. Отъ этого, частицы, лежащія въ изломѣ на одной части тѣла, находятся въ столь большомъ разстояніи отъ частицъ на другой части, что сцѣпленіе становится незамѣтнымъ. Но если мѣста излома покрыть жидкостью, которая, спустя нѣсколько времени, можетъ отвердѣть, напр. клеемъ, то два куска составятъ одно тѣло. Это и есть *склеиваніе*. На томъ же началѣ

основано *спаиваніе* металловъ. Два куска какого либо металла можно спаять другимъ, болѣе легкоплавкимъ металломъ, т. е. такимъ, который, при достаточно сильномъ нагрѣваніи, становится жидкимъ, между тѣмъ какъ спаиваемыя части еще тверды. Латунь спаиваютъ оловомъ, мѣдь—латунью, серебро—паяльнымъ серебромъ и проч.

14. Закаливаніе. *Закаливаніе* состоитъ въ томъ, что тѣло весьма сильно нагрѣваютъ и потомъ мгновенно охлаждаютъ, погружая его въ снѣгъ, или какую нибудь холодную жидкость. Если такъ поступить со сталью, то она дѣлается чрезвычайно хрупкою и столь твердою, что оставляетъ на стеклѣ черту. Расплавленное стекло, вылитое въ воду, принимаетъ форму капли съ отросткомъ, скоро затвердѣваетъ и дѣлается столь хрупкимъ, что если отломить только одинъ отростокъ, то все стекло разсыплется въ песчинки. Закаливаніе иногда производитъ обратное дѣйствіе; такъ напримѣръ, сплавъ олова съ нѣкоторымъ количествомъ мѣди при быстромъ охлажденіи дѣлается упругимъ и мягкимъ, между тѣмъ какъ охлажденный медленно становится хрупкимъ и твердымъ.

Свойства закаленной стали можно еще измѣнить *отвариваніемъ* или *отпусканіемъ*, которое заключается въ томъ, что закаленную сталь снова нагрѣваютъ и потомъ постепенно охлаждаютъ. Послѣ этого, сталь дѣлается менѣе твердою и не столь хрупкою; чѣмъ сильнѣе нагрѣта сталь при отвариваніи, тѣмъ она будетъ мягче и упруже; если ее накалить добѣла, то она сдѣлается столь же мягкою, какою была до закаливанія. Замѣчательно, что поверхность стали при вторичномъ нагрѣваніи измѣняется въ цвѣтѣ; сначала она получаетъ соломенно-желтый цвѣтъ, потомъ золотистожелтый, пурпуровый, синій и фіолетовый; далѣе сталь не нагрѣваютъ, потому что тогда она будетъ слишкомъ мягка. Цвѣтами пользуются для опредѣленія степени отвариванія. Наибольшую твердость и наименьшую упругость представляетъ соломенножелтая сталь; изъ нея дѣлаются разные инструменты: топоры, долоты, ножницы. Когда хотятъ имѣть сталь весьма упругую, хотя и мягкую, то ее нагрѣваютъ до синяго или фіолетоваго цвѣта; эта сталь идетъ на пружины.

15. Притяженіе. Планеты, какъ извѣстно, вращаются около солнца, а луна—около земли. Основываясь на этомъ, Ньютонъ, знаменитый англійскій ученый XVII столѣтія, доказалъ математически, что *планеты имѣютъ стремленіе приблизиться къ солнцу*, а *луна—къ землѣ*. Чтобы объяснить это стремленіе, Ньютонъ предположилъ, что всѣ тѣла природы, какъ бы они велики или малы ни были, даже мельчайшія матеріальныя частицы, *взаимно притягиваются*. Такимъ

образомъ, солнце притягиваетъ къ себѣ планеты, планеты — солнце; земля притягиваетъ луну, луна — землю. Изъ свойствъ планетныхъ движеній и движенія луны около земли Ньютонъ далѣе вывелъ слѣдующіе два закона, извѣстные подъ названіемъ законовъ Ньютона: стремленіе тѣлъ сближаться или *взаимное притяженіе прямо пропорціонально массѣ и обратно пропорціонально квадрату разстоянія*, то есть съ увеличеніемъ массы въ 2, 3, 4 и т. д. раза, и притяженіе увеличивается во столько же разъ, а съ возрастаніемъ разстоянія между тѣлами въ 2, 3, 4 и т. д. раза, притяженіе уменьшается соотвѣтственно въ 4, 9, 16 и т. д. разъ. Тѣ же самые законы были подтверждены англійскимъ ученымъ Кавендишемъ для земныхъ предметовъ. Если мы не замѣчаемъ притяженія между какими либо тѣлами на землѣ, то этому препятствуютъ преимущественно притяженіе между землею и всѣми земными предметами и треніе. Такъ, два тѣла, напр., два стола, не двигаются другъ къ другу потому, что этому мѣшаетъ треніе ножекъ объ полъ; два шара, висящіе на нитяхъ, не сближаются до взаимнаго соприкосновенія, ибо земля, притягивая эти шары къ себѣ, заставляетъ ихъ натягивать нити по отвѣсному направленію. Заслуга Кавендиша заключается именно въ томъ, что ему удалось устранить вліяніе этихъ причинъ и доказать взаимное притяженіе земныхъ предметовъ, не смотря на чрезвычайную его малость.

Притяженіе при разныхъ обстоятельствахъ получаетъ разныя названія: притяженіе небесныхъ тѣлъ между собою называется *тяготѣніемъ*, частицъ одного и того же тѣла—*сцѣпленіемъ*, частицъ жидкаго съ частицами твердаго тѣла—*прилипаніемъ*, притяженіе тѣлъ землею—*тяжестью*.

16. Подвижность. *Подвижность* матеріи есть свойство, вслѣдствіе котораго тѣло отъ дѣйствія посторонней причины можетъ перемѣщаться. Мы говоримъ: тѣло *въ покоѣ*, если оно постоянно находится въ одномъ и томъ же мѣстѣ; говоримъ: тѣло *движется*, если въ разныя времена оно занимаетъ разныя мѣста. Покой и движеніе могутъ быть *абсолютные* и *относительные*. Абсолютнымъ покоемъ или движеніемъ называется дѣйствительный покой или движеніе тѣла; относительнымъ—въ отношеніи другихъ предметовъ. Примѣромъ послѣдняго можетъ служить покой или движеніе предмета на палубѣ движущагося парохода. Предметъ, лежащій на палубѣ, находится въ покоѣ въ отношеніи парохода, и въ движеніи — относительно воды, по которой идетъ пароходъ. Человѣкъ, прогуливающійся по палубѣ, находится въ движеніи въ отношеніи воды и палубы, но не трудно сообразить, что оба эти относительныя движенія совершенно различны.

Нельзя привести примѣры абсолютнаго покоя и абсолютнаго движенія, потому что всѣ предметы природы постоянно движутся. Такимъ образомъ, дома, горы, деревья, неподвижные на земной поверхности, находятся только въ относительномъ покоѣ, потому что земля со всѣми предметами, на ней находящимися, вращается около своей оси и около солнца. Это движеніе земли не есть абсолютное, такъ какъ и само солнце не находится въ покоѣ, но въ свою очередь движется около какого-то тѣла, положеніе котораго не опредѣлено съ точностію, и которое, вѣроятно, также движется.

Всякое движеніе, какъ абсолютное, такъ и относительное, можетъ быть *равномѣрное* и *неравномѣрное*; тѣло движется равномѣрно, если въ равные, произвольной величины и послѣдовательные промежутки времени пробѣгаетъ равныя пространства; напротивъ, если эти пространства неравны, движеніе тѣла есть неравномѣрное. Маятникъ хорошихъ часовъ совершаетъ каждый свой размахъ въ одно и то же время, напримѣръ въ одну секунду, но въ теченіе нѣкоторой доли этого промежутка (наприм. $^1/_{10}$ секунды) онъ пробѣгаетъ разныя пространства. Правда, въ началѣ размаха, въ теченіе первой десятой доли секунды, маятникъ описываетъ такую же дугу, какъ въ продолженіе послѣдней десятой доли того же размаха, но какъ эти промежутки (т. е. первая и послѣдняя десятыя доли секунды) не *послѣдовательны*, т. е. не слѣдуютъ непосредственно одинъ за другимъ, то движеніе маятника есть неравномѣрное. На практикѣ не удалось доселѣ построить приборы, которые давали бы совершенно равномѣрное движеніе; въ ходѣ самыхъ лучшихъ часовъ есть неправильности. Изъ наблюдаемыхъ движеній въ природѣ—вращеніе земли на оси считается вполнѣ равномѣрнымъ; оно поэтому употребляется для измѣренія времени.

Пространство, пробѣгаемое тѣломъ при равномѣрномъ движеніи, въ единицу времени, называется *скоростью*. Если, напримѣръ, говорятъ, что локомотивъ двигается по желѣзной дорогѣ со скоростью 300 саженъ въ минуту, то это значитъ, что локомотивъ каждую минуту пробѣгаетъ 300 саженъ.

Если пространство, пробѣгаемое тѣломъ въ единицу времени, возрастаетъ съ теченіемъ времени, то движеніе называется *ускореннымъ*; когда оно уменьшается, то—*замедленнымъ*. Тѣло, падающее на землю, локомотивъ при началѣ движенія двигаются ускоренно; тѣло, брошенное вверхъ по отвѣсному направленію, локомотивъ при концѣ движенія—замедленно.

Движеніе бываетъ еще *свободное* и *несвободное*. Несвободнымъ называютъ движеніе, стѣсненное какими либо условіями; таково дви-

женіе шара, привѣшеннаго на ниткѣ къ потолку, потому что шаръ не можетъ отойти отъ точки привѣса на разстояніе, большее длины нити; движеніе кольца по веревкѣ, которой концы укрѣплены, есть равнымъ образомъ несвободное. Въ свободномъ движеніи тѣло не подчинено никакимъ условіямъ и, слѣдовательно, имѣетъ одинаковую возможность двигаться во всѣ стороны. Летаніе птицы въ воздухѣ, движеніе небесныхъ свѣтилъ—суть движенія свободныя.

Когда путь, описываемый матеріальной частицей, есть прямая линія, то движеніе называется *прямолинейнымъ*; если же этотъ путь есть кривая линія, то—*криволинейнымъ*.

17. Инерція. *Инерціею* называется свойство, принадлежащее всѣмъ тѣламъ безъ исключенія, по которому, если тѣло находится въ покоѣ, то останется въ покоѣ вѣчно, пока посторонняя причина не выведетъ его изъ этого покоя; если тѣло движется и не встрѣчаетъ препятствій движенію, то будетъ двигаться вѣчно, по прямой линіи и равномѣрно. Первое не требуетъ доказательства, ибо никогда не случается наблюдать, чтобы тѣло начало двигаться безъ всякой причины. Второе свойство — то есть, что тѣло, разъ приведенное въ движеніе, стремится двигаться вѣчно — менѣе очевидно. Древніе философы даже полагали, что тѣла наклонны къ покою; отсюда названіе *инерція*, то есть недѣятельность, лѣность; они основывали свое заключеніе на томъ, что всякое тѣло, какъ напримѣръ шаръ, катящійся по горизонтальной плоскости, спустя нѣкоторое время, останавливается. Такое заключеніе неосновательно, потому что движущееся тѣло встрѣчаетъ разныя препятствія: треніе между шаромъ и плоскостью и сопротивленіе воздуха, на преодолѣваніе которыхъ тратится часть скорости. Въ самомъ дѣлѣ, опытъ показываетъ, что, по мѣрѣ уменьшенія вліянія препятствій, тѣло движется долѣе; такъ деревянный кубъ, приведенный въ движеніе по полу, почти тотчасъ останавливается; но чѣмъ грани куба будутъ лучше отполированны, и чѣмъ полъ глаже, тѣмъ болѣе пройдетъ времени до прекращенія движенія. Отсюда мы дѣлаемъ заключеніе, хотя не вполнѣ строгое, что если бы препятствія движенію удалить совершенно, то тѣло двигалось бы вѣчно. Примѣръ подобнаго вѣчнаго движенія представляютъ намъ земля и планеты, вращающіяся около солнца; правда, здѣсь движеніе криволинейное, а не прямолинейное, но это происходитъ отъ взаимнаго притяженія солнца съ планетами: если бы планеты повиновались только одной этой силѣ и не имѣли стремленія двигаться, вслѣдствіе инерціи, прямолинейно, то упали бы на солнце; напротивъ, подчиняясь только инерціи, онѣ двигались бы по прямымъ линіямъ и ушли бы отъ солнца.

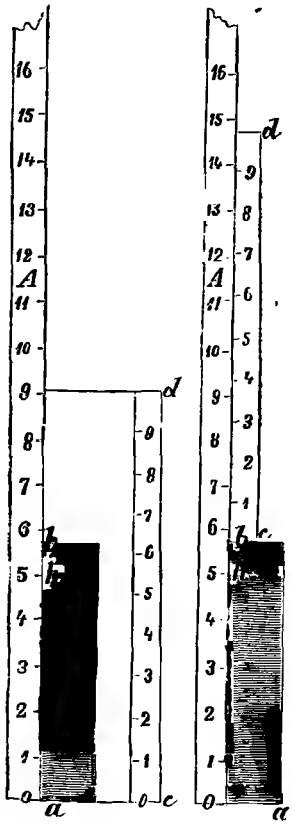
Тѣло не только стремится пребывать въ покоѣ, если уже покоилось, и двигаться, если двигалось, но еще оказываетъ сопротивленіе къ переходу изъ одного состоянія въ другое, т. е. изъ покоя въ движеніе и обратно—изъ движенія въ покой, а также изъ прямолинейнаго и равномѣрнаго движенія въ криволинейное и неравномѣрное. Сила паровъ, приводящая въ движеніе пароходъ, не можетъ сообщить ему сразу большую скорость; скорость нечувствительно возрастаетъ по мѣрѣ того, какъ паръ преодолѣваетъ инерцію парохода. Когда пароходъ нужно остановить, то паръ заставляютъ дѣйствовать въ сторону, противоположную движенію, потому что, вслѣдствіе инерціи, пароходъ стремится продолжать свое движеніе. Ядро, выброшенное изъ дула пушки силою пороховыхъ газовъ, производитъ болѣе или менѣе сильное давленіе на всякую преграду, мѣшающую ему двигаться; только по этой причинѣ, ядра обладаютъ разрушительной силой. Слѣдующіе опыты также весьма ясно доказываютъ сопротивленіе, обнаруживаемое инерціею каждый разъ, когда тѣло переходитъ изъ покоя въ движеніе и обратно. Къ гирѣ привязываютъ нитку столь прочную, чтобы она выдерживала вѣсъ гири. Затѣмъ, гирю ставятъ на полъ. Если быстро дернуть нитку, то она оборвется. Ту же гирю, на такую же нитку привѣшиваютъ къ потолку. Если, приподнявъ гирю, предоставимъ ее самой себѣ, то она начнетъ падать; когда нитка натянется, то гиря, вслѣдствіе стремленія продолжать движеніе, перерветъ нитку.

Чѣмъ болѣе матеріи въ тѣлѣ, тѣмъ труднѣе его привести въ движеніе, если оно покоилось, и тѣмъ труднѣе остановить, если оно двигалось; однакоже, какъ бы велико тѣло ни было, и какъ бы ни была мала сила, приводящая его въ движеніе, тѣло во всякомъ случаѣ будетъ двигаться, хотя, быть можетъ, и весьма медленно, если только нѣтъ этому движенію препятствій.

На инерціи основано объясненіе весьма многихъ явленій. Если движущаяся лодка ударяется о берегъ, то люди, сидящіе въ ней, наклоняются въ сторону движенія, потому что всѣ тѣла, находящіяся въ лодкѣ, стремятся вмѣстѣ съ нею, вслѣдствіе инерціи, продолжать свое движеніе,—даже въ ту пору, когда лодка останавливается. Отсюда также понятно, почему столкновеніе двухъ поѣздовъ желѣзной дороги производитъ столь гибельныя послѣдствія. Человѣкъ, выскакивающій изъ быстро движущагося экипажа, падаетъ по направленію движенія, какъ скоро ступитъ на землю. Когда ударяемъ рукояткой топора о что нибудь неподвижное, то топоръ всходитъ на рукоятку. Камень, опущенный съ вершины мачты быстро движущагося парохода, падаетъ у основанія мачты. Инерціею также объясняется дѣйствіе пращи.

18. Измѣреніе длины. Чтобы измѣрить приблизительно длину, ширину, разстояніе и проч., достаточно сосчитать, сколько разъ единица длины укладывается на измѣряемой величинѣ. Болѣе точныя измѣренія можно производить посредствомъ особыхъ инструментовъ: *ноніуса, микрометрическаго винта, сферометра и катетометра.*

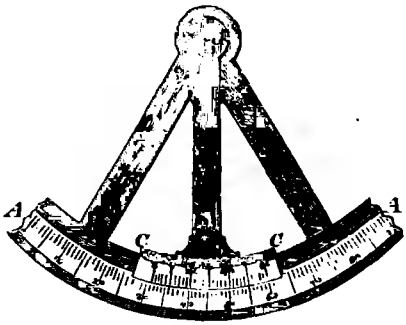
Ноніусъ. Пусть нужно найти длину тѣла *ab* (фиг. 10). Берутъ *масштабъ* или линейку *A*, иначе называемую *шкалой*, на которой отложены дѣленія, не слишкомъ мелкія, чтобы ихъ удобно было считать, напр. линіи (на фигурѣ эти дѣленія для ясности сдѣланы болѣе линіи). Одинъ конецъ *a* тѣла *ab* прикладываютъ къ тому мѣсту масштаба, гдѣ поставленъ нуль, и смотрятъ, какой точки масштаба касается другой конецъ *b*; пусть точка *b* легла между 5 и 6 дѣленіями. Слѣдовательно, длина предмета *ab* болѣе 5 линій на *hb*. Чтобы измѣрить этотъ излишекъ (зачерченъ на фигурѣ продольными линіями), употребляется *ноніусъ*; такъ называется линейка *cd*, равная 9-ти дѣленіямъ масштаба и раздѣленная на 10 равныхъ частей. Такъ какъ 10 дѣленій ноніуса составляютъ 9 дѣленій шкалы, то одно дѣленіе ноніуса равно $^9/_{10}$ дѣленія шкалы, и, слѣдовательно, одно дѣленіе ноніуса короче одного дѣленія шкалы на $^1/_{10}$ дѣленія шкалы. Прикладываемъ ноніусъ *cd* къ масштабу (фиг. 11), чтобы онъ коснулся предмета *ab* въ точкѣ *b*, и замѣчаемъ, которое дѣленіе ноніуса совпадаетъ съ дѣленіемъ шкалы. Положимъ, совпадаетъ седьмое дѣленіе ноніуса; тогда на протяженіи семи дѣленій масштаба, отъ 5 до 12 помѣщается семь дѣленій ноніуса и излишекъ *hb*; отсюда заключаемъ, что *hb* равенъ разности семи дѣленій шкалы и семи дѣленій ноніуса, а эта разность равна $^7/_{10}$ одного дѣленія масштаба. Такимъ образомъ, вся длина *ab* равна 5,7 линіи. Вообще, цифра, стоящая на чертѣ ноніуса, совпадающей съ какимъ нибудь дѣленіемъ масштаба, обозначаетъ число десятыхъ долей дѣленія масштаба, заключающихся въ *hb*. Во всей точности ни одно дѣленіе ноніуса не будетъ совпадать съ какимъ либо дѣленіемъ шкалы; такъ, на фигурѣ 11-й, 13-е дѣленіе масштаба, переходитъ за 8-е дѣ-



Фиг. 10. Фиг. 11.

леніе ноніуса, а 12-ое лежитъ ниже 7-го. Этимъ обстоятельствомъ пользуются, чтобы опредѣлять глазомѣрно сотыя доли. Если бы 7-е дѣленіе ноніуса отстояло отъ 12-го дѣленія масштаба на столько же, на сколько 8-е отъ 13-го, то измѣряемая длина равнялась бы 5,75; въ данномъ случаѣ, 8-е дѣленіе ближе къ 13-му, чѣмъ 7-е къ 12-му; слѣдовательно, длина ab болѣе 5,75; по глазомѣру надо допустить, что ab равно 5,76. — Можно бы находить сотыя доли непосредственно, взявъ ноніусъ длиною въ 99 дѣленій шкалы и раздѣливъ его на 100 частей: но тогда ноніусъ былъ бы очень длиненъ, а это представляло бы большое неудобство при отсчитываніи.

Для опредѣленія величины угловъ употребляется линейка A (фиг. 12), образующая окружность или часть ея, и называемая *лимбомъ*; всю окружность легко раздѣлить на 720 частей. Такимъ образомъ, по лимбу можно отсчитать полуградусы. Ноніусомъ служитъ дуга C, подвижная около центра O окружности A и равная 29 полуградусамъ; она раздѣляется на 30 частей; слѣдовательно, одно дѣленіе ноніуса менѣе одного дѣленія масштаба на $^1/_{30}$ долю полуградуса или на минуту. Такимъ образомъ, по ноніусу можно отсчитать минуты въ измѣряемомъ углѣ, а по несовершенному совпаденію черточекъ ноніуса и лимба—десятки секундъ. Круговой ноніусъ называется *вернiеромъ*.



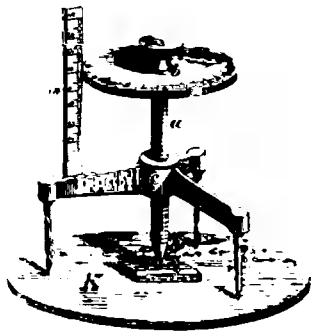
Фиг. 12.

19. Микрометрическій винтъ. Этотъ инструментъ никогда отдѣльно не употребляется, но всегда въ другихъ приборахъ и служитъ иногда для измѣренія, а иногда для того, чтобы производить чрезвычайно малыя перемѣщенія, напр. на 0.01 линіи, чего непосредственно рукою сдѣлать невозможно. Микрометрическій винтъ ab (фиг. 13) отличается отъ обыкновенныхъ винтовъ, какими въ общежитіи привинчиваются замки и другія вещи, нарѣзами и головкой b. Нарѣзы дѣлаются близко другъ къ другу и почти перпендикулярно къ длинѣ винта a. Головка b есть круглая пластинка; окружность ея раздѣлена на равныя части. При винтѣ всегда бываетъ *гайка* c; это есть пластинка съ отверстіемъ, въ которомъ сдѣланы такіе же нарѣзы, какъ и на винтѣ. Если станемъ вращать винтъ по направленію, показанному стрѣлкой, вставивъ его въ отверстіе гайки, то онъ будетъ входить въ гайку. Не трудно сообразить, что при пол-

Фиг. 13.

номъ оборотѣ головки, то есть въ 360°, винтъ подвинется на длину, равную разстоянію между нарѣзами, и на столько же перемѣститъ тѣло, въ которое онъ упирается. Если же повернемъ головку только на $^1/_{100}$ доли всей окружности, то винтъ подастся впередъ на такую же часть разстоянія между нарѣзами: если бы это разстояніе было $^1/_2{}^{mm}$, то перемѣщеніе винта равнялось бы только $^1/_{200}{}^{mm}$.

20. Сферометръ. Помощію сферометра измѣряютъ толщину весьма тонкихъ предметовъ. Главнѣйшая часть его — микрометрическій винтъ a (фиг. 14); гайка c поддерживается тремя ножками, опирающимися на стеклянный столикъ K. Если разстояніе между нарѣзами равно $^1/_2{}^{mm}$, то при полномъ оборотѣ винтъ подымается или опускается на эту величину. Число оборотовъ отсчитывается по шкалѣ m, на которой сдѣланы дѣленія въ $^1/_2{}^{mm}$, а части одного оборота — по головкѣ b винта. Если окружность ея имѣетъ 500 дѣленій, и мы повернемъ головку на одно дѣленіе, то винтъ передвинется на $^1/_{500}$ долю одного полумиллиметра или на $0^{mm},001$. Когда хотятъ измѣрить толщину пластинки t, то приводятъ конецъ винта въ соприкосновеніе съ подставкой K. Пусть 0 дѣленій головки стоитъ тогда противъ 0 шкалы m. Потомъ, винтъ вывинчиваютъ изъ гайки, кладутъ подъ остріе его, на столикъ K пластинку t и опять вращаютъ головку, пока винтъ не коснется этой пластинки. Если край головки будетъ какъ разъ противъ 2-го дѣленія, то это будетъ означать, что пластинка t имѣетъ въ толщину 2 полумиллиметра или 1^{mm}. Когда же край головки не совпадаетъ ни съ однимъ дѣленіемъ шкалы и стоитъ напр. между 2-мъ и 3-мъ, то замѣчаютъ, какое дѣленіе окружности обращено къ шкалѣ. Положимъ 237-ое. Тогда измѣряемая величина есть $2^{237}/_{500}$ полумиллиметра или $1^{mm},237$. Еслибы 0 шкалы m не стоялъ противъ края головки, когда винтъ касался подставки K, то надлежало бы сдѣлать отчетъ, какъ при измѣреніи пластинки t, и найденную величину вычесть изъ $1^{mm},237$. Когда хотятъ измѣрить толщину мягкаго предмета, который можетъ сдавливаться остріемъ винта, какъ напр. каучукъ или бумага, то его покрываютъ стеклянной пластинкой и опредѣляютъ общую толщину; потомъ, изъ найденной величины вычитаютъ толщину стеклянной пластинки.

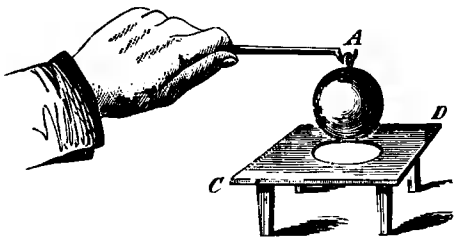


Фиг. 14.

21. Катетометръ. Этотъ приборъ состоитъ изъ стержня A (фиг. 15), устанавливаемаго въ отвѣсномъ положеніи помощію трехъ винтовъ p. По всей длинѣ его можетъ двигаться обхватывающая часть d, на которой лежитъ горизонтальная зрительная трубка C. На стержнѣ сдѣланы дѣленія, а обхватывающая часть имѣетъ ноніусъ. Наконецъ, стержень A вертится около вертикальной оси и можетъ быть закрѣпленъ въ каждомъ положеніи винтомъ K; въ трубѣ натянуты на крестъ двѣ паутиновыя нити, перпендикулярно къ длинѣ трубы. Катетометромъ опредѣляется разность возвышеній надъ горизонтомъ двухъ какихъ либо точекъ M и N. Для этого, подымаютъ или опус-

кають обхватывающую часть d по стержню A до тѣхъ поръ, пока не увидятъ чрезъ трубу C, что пересѣченіе нитей покрываетъ точку M. Тогда замѣчаютъ, на какомъ дѣленіи стержня стоитъ нуль ноніуса. Затѣмъ, устанавливаютъ трубу на другую точку N и снова дѣлаютъ отчетъ. Разность отчетовъ будетъ очевидно равна возвышенію точки M надъ N. Еслибы точки были на одной отвѣсной линіи, то мы такимъ образомъ нашли бы разстояніе между ними. Прибавимъ еще, что непосредственно рукою можно только приблизительно приводить въ совпаденіе пересѣченіе нитей съ наблюдаемой точкой, а потомъ нужно дѣйствовать микрометрическимъ винтомъ, который на фигурѣ не показанъ. Точность катетометра можетъ простираться до $^1/_{100}{}^{mm}$.

22. Расширеніе тѣлъ чрезъ нагрѣваніе. Тѣла могутъ быть расширяемы и сжимаемы не только посредствомъ механическихъ дѣйствій — растягиванія и сдавливанія, но также чрезъ нагрѣваніе и охлажденіе. Для доказательства приготовляютъ металлическій шаръ A (фиг. 16) такого же діаметра, какъ и круглое отверстіе, сдѣланное въ столикѣ CD, и чрезъ которое бы онъ свободно проходилъ. Шаръ нагрѣваютъ на лампѣ, или просто подержавъ въ рукѣ; отъ этого, онъ расширится и не будетъ болѣе проходить чрезъ отверстіе столика.—Также можно убѣдиться, что и жидкости расширяются при нагрѣваніи; для этого, употребляютъ приборъ, состоящій изъ стекляннаго полаго шара A (фиг. 17) съ стеклянной трубкой bc; шаръ и нижнюю часть трубки наполняютъ жидкостью. Если возьмемъ шаръ въ руку, то жидкость начинаетъ въ трубкѣ подыматься. Такъ какъ при этомъ расширяются и стѣнки стекляннаго шара, и, слѣдовательно, емкость его увеличивается, то должно заключить, что стекло при нагрѣваніи расширяется менѣе жидкости.— Свойствомъ расширяться при нагрѣваніи обладаютъ и газы. Къ стеклянному полому шару A (фиг. 18) припаиваютъ изогнутую стеклянную трубку bc и наливаютъ нѣсколько жидкости, такъ чтобы надъ уровнемъ ея въ шарѣ находился какой нибудь газъ, напр. воздухъ. Какъ только положимъ руку на шаръ A, то газъ расширится и очень быстро подыметъ жидкость въ трубкѣ. Газы расширяются больше жидкостей.

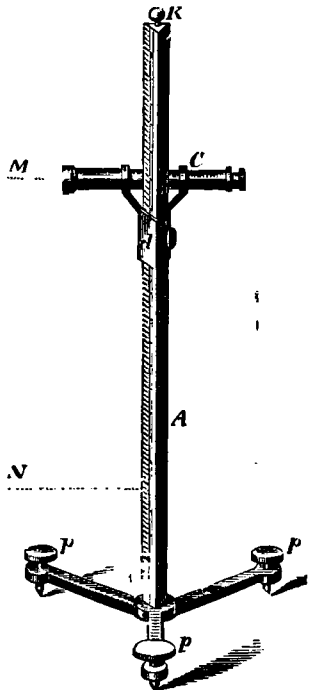


Фиг. 16.

Фиг. 17.

Фиг. 18.

Расширеніемъ тѣлъ при нагрѣваніи и сжиманіемъ при охлажденіи объясняется измѣненіе физическихъ свойствъ твердыхъ тѣлъ при закаливаніи и отпусканіи. При погруженіи въ воду раскаленнаго тѣла охлаждается сначала наружная оболочка, между тѣмъ какъ внутренняя масса остается горячей; поэтому частицы тѣла принимаютъ не то расположеніе, какое онѣ приняли бы, еслибы охлажденіе происходило одинаково по всей массѣ тѣла, какъ снаружи, такъ и внутри.



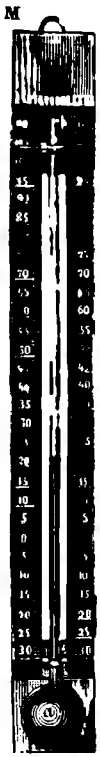
Фиг. 15.

23. Термометръ. Расширеніемъ тѣлъ при нагрѣваніи измѣряютъ *температуру*. Температура есть степень тепла, до которой тѣло нагрѣто. Приборы, измѣряющіе температуру, называются *термометрами*. Эти приборы устроиваются слѣдующимъ образомъ. Стеклянный полый шарикъ *a* (фиг. 19) и нижнюю часть припаянной къ нему тонкой стеклянной трубки *bd* наполняютъ ртутью; укрѣпивъ ихъ потомъ на металлической пластинкѣ *MN*, опускаютъ въ тающій снѣгъ или ледъ и замѣчаютъ точку, гдѣ остановится ртуть; вынувъ приборъ изъ снѣга, держатъ его въ парахъ кипящей воды и снова отмѣчаютъ на пластинкѣ вершину ртутнаго столбика. Такимъ образомъ, получаютъ двѣ температуры: *таянія снѣга* и *кипѣнія воды*, которыя называются *постоянными точками*, потому что какъ таяніе, такъ и кипѣніе совершаются при однѣхъ и тѣхъ же температурахъ *). Точку таянія снѣга называютъ обыкновенно точкою *замерзанія*, потому что вода замерзаетъ при той же температурѣ, при которой таетъ снѣгъ или ледъ.

При дальнѣйшемъ устройствѣ термометра поступаютъ различно. Реомюръ раздѣлилъ пространство между постоянными точками на 80 частей, назвавъ ихъ градусами; у точки замерзанія поставилъ 0, на слѣдующемъ вверхъ дѣленія 1, потомъ 2, затѣмъ 3 и такъ далѣе, и, наконецъ, на точкѣ кипѣнія 80. Дѣленія продолжаютъ вверхъ отъ точки

*) Иначе сказать: тающій снѣгъ одинаково холоденъ, таетъ ли онъ на дворѣ, подъ лучами весенняго солнца, или на сильномъ огнѣ, въ ледникѣ лѣтомъ, или въ натопленной комнатѣ; равнымъ образомъ, кипящая вода одинаково горяча, кипитъ ли она на сильномъ или слабомъ огнѣ, въ Петербургѣ или Одессѣ [178].

кипѣнія и внизъ отъ точки таянія. На первомъ дѣленіи, выше точки кипѣнія, пишутъ 81, на слѣдующемъ 82, и т. д. Отъ точки замерзанія дѣленія идутъ внизъ: 1, 2, 3... Если термометръ будетъ помѣщенъ въ воздухѣ, водѣ, или какой нибудь другой средѣ и вершина ртутнаго столбика станетъ противъ нѣкоторой цифры, напримѣръ 5, то температура этой среды, принимается равною 5 градусамъ. Чтобы отличить температуры выше нуля отъ температуръ ниже его, пишутъ предъ вторыми знакъ минусъ (—). Поэтому, когда говорятъ, что термометръ показываетъ температуру—5 градус., то надо разумѣть, что температура 5-ью градусами ниже точки замерзанія; такую температуру называютъ въ общежитіи *морозомъ* или *холодомъ*. Градусы обозначаютъ знакомъ (^{0}), поставленнымъ вверху числа. Такимъ образомъ,—5^0 означаетъ 5 градусовъ холода. Въ Европѣ наиболѣе употребителенъ термометръ Реомюра.



Фиг. 19.

Цельсій раздѣлилъ пространство между постоянными точками на 100 частей, поставивъ у точки замерзанія 0, а у кипѣнія 100; во всемъ прочемъ поступилъ такъ же, какъ Реомюръ. Европейскіе ученые въ своихъ сочиненіяхъ даютъ температуры преимущественно по термометру Цельсія.

Есть еще третій родъ термометра, принадлежащій Фаренгейту, который на точкѣ замерзанія поставилъ 32, а на точкѣ кипѣнія 212, и, слѣдовательно, все пространство между постоянными точками раздѣлилъ на 180 равныхъ частей. 0 на этомъ термометрѣ стоитъ ниже точки замерзанія; дѣленія продолжаются ниже нуля, и, какъ въ двухъ предыдущихъ термометрахъ, обозначаются знакомъ минусъ. Этотъ термометръ употребляется въ Англіи, Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатахъ и др.

Если два наблюдателя, находясь въ разныхъ мѣстностяхъ, построятъ надлежащимъ образомъ два термометра, то оба инструмента, поставленные рядомъ, будутъ давать согласныя показанія; если, наприм., на одномъ изъ нихъ прочтемъ 12^0, то и другой покажетъ ту же температуру. Такое важное качество термометровъ зависитъ, между прочимъ, отъ тщательнаго обозначенія на нихъ постоянныхъ точекъ.

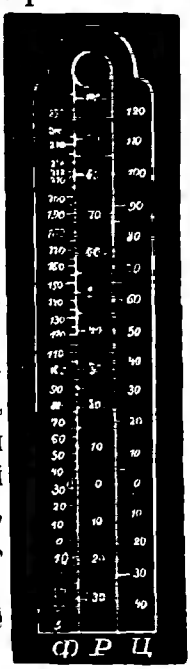
24. Сравненіе термометрическихъ шкалъ. При обозначеніи температуры необходимо указывать, по какой изъ трехъ термометрическихъ шкалъ она измѣрена. Въ этой книгѣ принята шкала Цельсія. Впрочемъ, помощію простыхъ дѣйствій легко перевести показанія одного термометра на показанія другого. Сдѣлаемъ нѣсколько примѣровъ.

Перевести 12° термометра Реомюра на цельсіевъ термометръ. Одно и то же пространство на термометрѣ раздѣлено Цельсіемъ на 100, а Реомюромъ на 80 частей; слѣдовательно, 80 дѣленій реомюрова термометра равны 100 дѣленіямъ цельсіева термометра; отсюда одно дѣленіе термометра Реомюра составляетъ $1^1/_4$ дѣленія термометра Цельсія. Для перевода 12° термометра Реомюра, которые, для сокращенія письма, обозначимъ чрезъ 12° (Р), на термометръ цельсіевъ, должно $1^1/_4$ умножить на 12, откуда получимъ 15. Итакъ, 12° (Р) составляютъ 15° (Ц). гдѣ 15° (Ц) выражаетъ 15° цельсіева термометра.

Перевести 12° (Р) на термометръ Фаренгейта. Пространство между постоянными точками въ термометрѣ Реомюра раздѣлено на 80, а Фаренгейта на 180 частей; слѣдовательно, 80 дѣленій перваго равны 180 дѣленіямъ второго; отсюда одно дѣленіе реомюрова термометра содержитъ $2^1/_4$ дѣленій фаренгейтова термометра. Умноживъ $2^1/_4$ на 12, получимъ 27—число дѣленій фаренгейтова термометра, заключающихся въ 12° (Р) и лежащихъ выше точки замерзанія; такъ какъ на термометрѣ Фаренгейта у точки замерзанія стоитъ 32, то для полученія показанія этого термометра, должно число 32 придать къ 27. Такимъ образомъ найдемъ, что 12° (Р) составляютъ 59° (Ф).

Перевести 14° (Ф) на термометръ Цельсія. Разсуждая подобно предыдущему, увидимъ, что одно дѣленіе термометра Фаренгейта равно $^5/_9$ дѣленія термометра Цельсія. Такъ какъ на термометрѣ Фаренгейта у точки замерзанія стоитъ 32, то, точка, на которой означено 14°, лежитъ ниже точки замерзанія на 18 дѣленій, а чтобы узнать, на сколько дѣленій эта точка лежитъ ниже нуля въ термометрѣ Цельсія, должно умножить $^5/_9$ на 18, отъ чего получимъ 10. Итакъ, 14° (Ф) все равно, что—10° (Ц).

Фигура 20 изображаетъ сравнительную шкалу всѣхъ трехъ термометровъ.

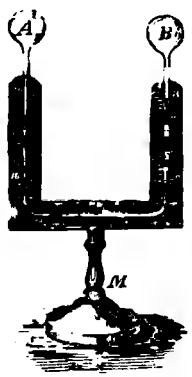


Фиг. 20.

25. Термометрическій приборъ можно наполнять не одною ртутью, но и другими жидкостями, напр. спиртомъ, и даже газами: воздухомъ, водородомъ и проч.

Для опредѣленія разности температуръ употребляется приборъ, называемый *дифференціальнымъ термометромъ*. Онъ состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ полыхъ шаровъ *A* и *B* (фиг. 21), наполненныхъ воздухомъ и соединенныхъ изогнутою стеклянною трубкою, которая

прикрѣплена къ станку *M*; въ трубку наливаютъ окрашенной сѣрной кислоты. Приборъ устроенъ такъ, что когда оба шарика *A* и *B* находятся подъ вліяніемъ равныхъ температуръ,—жидкость въ обоихъ колѣнахъ стоитъ на одной высотѣ: противъ уровней жидкости въ трубкахъ ставятъ на шкалѣ 0. Потомъ, одинъ шарикъ, напр. *A*. подвергаютъ температурѣ, превышающей 10-ю градусами температуру шарика *B*; тогда воздухъ шарика *A* расширится; жидкость въ прилегающемъ къ нему колѣнѣ понизится, а въ другомъ повысится. Въ тѣхъ точкахъ, гдѣ остановятся вершины столбиковъ сѣрной кислоты, пишутъ 10; пространства между замѣченными точками и нулемъ, дѣлятъ на 10 равныхъ частей и продолжаютъ дѣленія отъ нуля вверхъ и внизъ, во всю длину обоихъ колѣнъ. Приборъ, такимъ образомъ устроенный. показываетъ разность температуръ двухъ мѣстъ; если напр. помѣстимъ его на окно, обращая одинъ шарикъ во внутренность комнаты, а другой къ холодному стеклу, то жидкость подвинется къ охлажденному шарику, т. е. къ окну.



Фиг. 21.

26. Явленія. Тѣла природы, при соприкосновеніи или на разстояніи, обнаруживаютъ одно на другое дѣйствія; такъ, желѣзо притягивается къ магниту; гиря давитъ на подставку, на которой лежитъ. и ничѣмъ не удерживаемая падаетъ на землю; струна, приведенная въ дрожательное состояніе, возбуждаетъ въ насъ ощущеніе звука; янтарь. потертый о сукно, притягиваетъ кусочки бумаги и другіе легкіе предметы. Все, что происходитъ въ природѣ, называется *явленіемъ*; притяженіе желѣза къ магниту, паденіе камня и проч. суть явленія.

27. Предметъ и раздѣленіе естественныхъ наукъ. Естественныя науки разсматриваютъ тѣла природы и раздѣляются на *естественную исторію*, описывающую естественныя тѣла, и *физику* съ *химіей*, занимающихся явленіями.

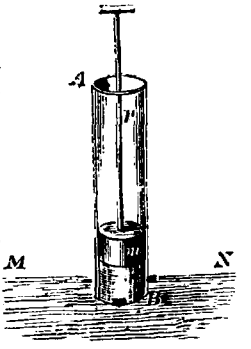
28. Два рода явленій. Явленія бываютъ двухъ родовъ: *физическія* и *химическія*. Физическимъ явленіемъ называется такое. при которомъ внутренній составъ тѣлъ и, въ большей части случаевъ. наружный видъ ихъ не перемѣняются; химическое же явленіе сопровождается не только измѣненіемъ состава тѣлъ, но обыкновенно и наружнаго вида ихъ. Паденіе тѣла, замерзаніе воды, притяженіе желѣза къ магниту суть явленія физическія. Примѣрами химическихъ явленій могутъ служить слѣдующія явленія: когда горитъ дерево, то

вмѣсто его получаются вещества, вовсе на него не похожія: дымъ, пепелъ и уголь; если смѣшаемъ сѣру со ртутью и будемъ тереть смѣсь въ фарфоровой ступкѣ фарфоровымъ пестомъ, то образуется вещество чернаго цвѣта, не похожее ни на сѣру, ни на ртуть.

29. Физика и химія. *Физика* есть наука, занимающаяся *изслѣдованіемъ* физическихъ явленій, то есть такихъ, при которыхъ внутренній составъ тѣлъ и, въ большинствѣ случаевъ, наружный видъ ихъ не перемѣняются: напротивъ, *химія* имѣетъ предметомъ тѣ явленія, которыя измѣняютъ болѣе или менѣе составъ тѣлъ и по большей части наружный видъ ихъ.

30. Изслѣдованіе явленія. Разсматривая внимательно явленіе, мы почти всегда можемъ открыть его причину, или то, отъ чего явленіе происходитъ. Найденная нами причина въ свою очередь можетъ зависѣть отъ другой; эта—отъ третьей и т. д.; восходя такимъ образомъ отъ наблюдаемаго явленія, мы можемъ достигнуть до первоначальной причины, которая, при настоящемъ состояніи науки, не выводится ни изъ какой другой: такая первоначальная причина называется *силою* природы. *Найти первоначальную причину какого-либо явленія значитъ его изслѣдовать* или *объяснить*.

Для поясненія сказаннаго, разберемъ слѣдующее явленіе, извѣстное съ глубокой древности. Погрузимъ въ воду MN (фиг. 22) одинъ конецъ стекляннаго полаго цилиндра AB, въ который вставленъ другой сплошной цилиндръ m, называемый *поршнемъ* и плотно прилегающій къ стѣнкамъ цилиндра AB. Если помощію стержня p подымемъ поршень, то вслѣдъ за нимъ подымется въ цилиндръ AB и вода. Въ этомъ заключается явленіе. Станемъ искать его причину. Въ безвоздушномъ пространствѣ этого явленія не происходитъ. Для доказательства берутъ стеклянный сосудъ (фиг. 23), наливаютъ въ него ртути или какой нибудь другой жидкости и закрываютъ крышкой S, въ которую вдѣланы стеклянная труба AB съ поршнемъ m и трубка d. Помощію пневматической машины, изъ сосуда чрезъ трубку d вытягиваютъ воздухъ. Если теперь за ручку c поднять поршень m, то ртуть не пойдетъ въ трубу AB за поршнемъ. Значитъ, пустота имѣетъ иныя свойства, чѣмъ воздухъ. Отчего же это различіе происходитъ? Чтобы понять это, припомнимъ, что всѣ тѣла природы имѣютъ вѣсъ. Воздухъ также имѣетъ вѣсъ и давитъ своимъ вѣсомъ на поверхность MN (фиг. 22) жидкости, между тѣмъ какъ въ



Фиг. 22.

цилиндрѣ AB, между поршнемъ и водою, когда поршень будетъ приподнятъ, должна бы образоваться пустота, неспособная произвести давленіе. Поэтому, вода, испытывая давленіе атмосферы и не встрѣчая противодѣйствія въ цилиндрѣ AB, подымается вслѣдъ за поршнемъ. Итакъ, причина поднятія воды въ цилиндрѣ AB есть вѣсъ воздуха. Не удовлетворяясь этимъ выводомъ, мы захотимъ узнать, отъ чего воздухъ, какъ и другія тѣла природы, имѣетъ вѣсъ? На этотъ вопросъ наука, въ настоящемъ состояніи, отвѣтить не можетъ. Слѣдовательно, мы достигли до первоначальной причины; она называется *силою тяжести*. Итакъ, первоначальная причина восхожденія воды въ цилиндрѣ AB. при поднятіи поршня, есть тяжесть.

Первоначальныхъ причинъ или силъ природы, къ которымъ приводятся всѣ явленія, весьма немного: *притяженіе* и одинъ изъ видовъ его *тяжесть*, *теплородъ*, *свѣтъ*, *магнитизмъ*, *электричество и химическое сродство*. Явленія, производимыя нѣкоторыми изъ нихъ, столь похожи между собой, что заставляютъ подозрѣвать тожество самихъ силъ. Поэтому, весьма вѣроятно, что первоначальныхъ причинъ менѣе, чѣмъ мы думаемъ.

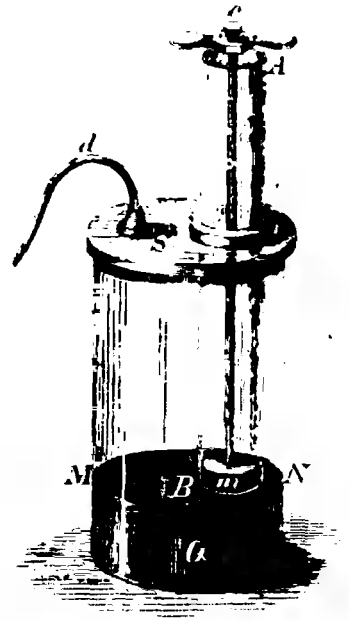
31. Наблюденіе; опытъ. Если мы изучаемъ явленіе такъ, какъ оно въ природѣ совершается, то мы дѣлаемъ *наблюденіе*. Такимъ способомъ изучаются явленія: вѣтеръ, гроза, органическая жизнь и проч. Иногда. наблюдаемое явленіе зависитъ отъ многихъ причинъ, такъ что мы не можемъ опредѣлить степень участія каждой. Или одновременно совершаются многія затемняющія другъ друга явленія. Тогда явленіе производятъ искусственно, устраняя нѣкоторыя силы и тѣ обстоятельства, которыя могутъ мѣшать наблюденію. Такой способъ изученія природы называется *опытомъ*. Для поясненія приводимъ въ примѣръ произрастаніе. Жизнь растенія можетъ зависѣть отъ воздуха, влаги, тепла, свѣта и проч. Чтобы опредѣлить вліяніе какой либо изъ этихъ причинъ, надо ее устранить, заставивъ дѣйствовать всѣ другія. Если бы мы хотѣли узнать, какое значеніе имѣетъ свѣтъ въ этомъ случаѣ, то слѣдовало бы растеніе помѣстить въ темной комнатѣ, устраняя такимъ образомъ вліяніе свѣта и не устраняя прочихъ условій, потребныхъ для жизни растенія; спустя нѣсколько времени, мы замѣтили бы, что листья изъ зеленыхъ сдѣлались желтыми. Отсюда заключаемъ, что отъ свѣта, между прочимъ, зависитъ цвѣтъ листьевъ.

Тѣла, двигающіяся въ воздухѣ, встрѣчаютъ сопротивленіе, отъ чего движеніе ихъ замедляется. Сопротивленіе для разныхъ тѣлъ неодинаково; такъ, камень падаетъ гораздо быстрѣе пуха. Не зная, отъ какихъ обстоятельствъ зависитъ это явленіе, мы можемъ предполо-

жить, что на него оказываютъ вліяніе: величина поверхности тѣла, форма его, вѣсъ, вещество и т. д.

Разсмотримъ вліяніе поверхности. Приготовимъ два шара изъ одного и того же вещества, но разнаго объема, и въ большемъ сдѣлаемъ такую полость внутри, чтобы шары имѣли одинаковый вѣсъ. Опустивъ оба шара съ вершины высокой башни, найдемъ, что меньшій достигнетъ ранѣе земли, нежели большій. Отсюда выходитъ, что съ увеличеніемъ поверхности увеличивается и сопротивленіе движенію.

Чтобы изучить вліяніе второй причины, то есть формы, приготовимъ два тѣла, имѣющія разный видъ, при одинаковыхъ прочихъ обстоятельствахъ; тогда окажется, что скорѣе достигаетъ земли то тѣло, которое имѣетъ болѣе заостренную форму. Слѣдовательно, сопротивленіе воздуха тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе заостренную форму имѣетъ тѣло.



Фиг. 23.

Возьмемъ два шара изъ одного и того же вещества, равнаго объема, но разнаго вѣса, сдѣлавъ въ одномъ изъ шаровъ внутри полость. Опытъ показываетъ, что такія тѣла падаютъ не одинаково скоро: шаръ тяжелый двигается скорѣе, нежели легкій. Слѣдовательно, сопротивленіе воздуха оказываетъ большее вліяніе на тѣла легкія.

Подобными опытами можно было бы изслѣдовать вліяніе и другихъ причинъ разсматриваемаго явленія.

32. Гипотеза. Достигнувъ, при объясненіи явленій, какой нибудь первоначальной причины [30], человѣческій умъ не охотно останавливается и дѣлаетъ *гипотезу* или предположеніе, болѣе или менѣе вѣроятное, о сущности этой причины, и изъ котораго истекали бы наблюдаемыя явленія. Когда наука о природѣ имѣла весьма слабое, сравнительно съ настоящимъ, развитіе, когда наблюденій и опытовъ было весьма мало, ученые безпрестанно прибѣгали къ построенію гипотезъ, одна другой невѣроятнѣе. Чтобы объяснить, почему янтарь, потертый сукномъ, притягивалъ легкіе предметы, они допускали, что въ этомъ тѣлѣ живетъ одушевленное существо; для объясненія суточ-

наго теченія небесныхъ свѣтилъ, предполагали вращательное движеніе небеснаго свода: восхожденіе воды въ насосахъ [30] выводили изъ того, что будто бы природа боится пустого пространства и т. д. Нѣкоторыя гипотезы, съ умноженіемъ фактовъ и вслѣдствіе открытія противорѣчащихъ явленій, были оставлены и замѣнены новыми. Другія, напротивъ, постоянно подтверждаются наблюденіями и потому справедливо считаются истинами; такова гипотеза Коперника о движеніи планетъ около солнца и вращеніи земли на оси, составленная имъ для объясненія небесныхъ явленій.

Удачно выбранная гипотеза приноситъ существенную пользу. Помогая уразумѣть истинную причину явленій, она часто наводитъ на новые опыты и устремляетъ вниманіе на то, что могло бы пройти незамѣченнымъ. Наконецъ, она даетъ возможность найти связь между фактами, повидимому, совсѣмъ разнородными, и чрезъ то облегчаетъ ихъ запоминаніе.

Послѣдовательное изложеніе ряда явленій, на основаніи принятой гипотезы, называется *теоріей*.

33. Атомистическая теорія. Изъ многихъ явленій, замѣчаемыхъ нами въ природѣ, иныя столь обыкновенны, что поверхностному наблюдателю и не придетъ на умъ поискать ихъ причины. Таковы явленія: если хотимъ разломить твердое тѣло, то нужно употребить болѣе или менѣе значительное усиліе, между тѣмъ какъ жидкости не представляютъ почти никакого сопротивленія къ разъединенію своихъ частицъ, а газы даже имѣютъ стремленіе занять какъ можно большее пространство. Всѣ тѣла при нагрѣваніи или растягиваніи расширяются, а при охлажденіи или сдавливаніи уменьшаются въ объемѣ. Всякое упругое тѣло, какъ наприм. каучукъ, будучи сжато или растянуто, стремится принять первоначальную форму. Плотность у разныхъ тѣлъ бываетъ различна.—Для объясненія этихъ и многихъ другихъ явленій построили *атомистическую* гипотезу. Предполагаютъ, что естественныя тѣла состоятъ изъ чрезвычайно малыхъ частицъ матеріи, называемыхъ *атомами* и раздѣленныхъ промежутками, весьма большими сравнительно съ величиною атомовъ. Атомы одарены свойствомъ взаимно *притягиваться*; вслѣдствіе этого, они сблизились бы до соприкосновенія, если бы нѣкоторая сила, называемая *отталкивательною* или *теплородомъ*, не стремилась ихъ одинъ отъ другого удалить. Въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ притяженіе и отталкиваніе должны быть между собою равны, ибо, въ случаѣ преобладанія притяженія, атомы стали бы сближаться, а если бы отталкиваніе взяло перевѣсъ, то они удалились бы другъ отъ друга. Съ увеличеніемъ

разстоянія между атомами. силы притяженія и отталкиванія уменьшаются, но не въ одинаковой степени: отталкиваніе быстрѣе притяженія. Если, при увеличеніи разстоянія вдвое, притяженіе уменьшилось въ 10 разъ, то отталкиваніе уменьшится больше, чѣмъ въ 10 разъ, наприм. въ 50 разъ. Обратно, съ уменьшеніемъ разстоянія, обѣ силы увеличиваются, и отталкиваніе также быстрѣе притяженія.

Атомистической гипотезой объясняются всѣ упомянутыя выше и многія другія явленія. Представимъ себѣ какое нибудь твердое тѣло, наприм. металлическій стержень; въ естественномъ состояніи притяженіе между атомами равно ихъ взаимному отталкиванію. Станемъ этотъ прутъ сдавливать по направленію его длины. Тогда противъ отталкиванія будетъ дѣйствовать, кромѣ притяженія, еще наружное давленіе. Поэтому, атомы сблизятся, и стержень укоротится. По мѣрѣ того какъ разстояніе между атомами уменьшается, притяженіе и отталкиваніе увеличиваются, но какъ отталкиваніе возрастаетъ быстрѣе притяженія, то будетъ моментъ, когда отталкиваніе уравновѣсится съ притяженіемъ и наружнымъ давленіемъ. Такимъ образомъ, становится понятнымъ, почему нужно употребить нѣкоторое усиліе, чтобы сжать твердое тѣло. Сопротивленіе твердаго тѣла при растягиваніи объясняется подобно предыдущему, — съ тою только разницею, что при сжиманіи мы преодолѣваемъ отталкиваніе между атомами, а при растягиваніи—притяженіе. Сопротивленіе твердаго тѣла, при измѣненіи формы, не требуетъ новыхъ разъясненій, потому что всякое измѣненіе формы приводитъ къ сближенію или удаленію атомовъ другъ отъ друга. Если, наприм., мы сгибаемъ палку, то на вогнутой сторонѣ ея атомы сближаются, а на выпуклой раздвигаются; на вогнутой сторонѣ мы должны преодолѣвать отталкиваніе атомовъ; на выпуклой—притяженіе.

Различіе въ состояніяхъ тѣлъ: твердомъ, жидкомъ и газообразномъ можно также объяснить атомистической гипотезой. Въ твердыхъ тѣлахъ притяженіе и отталкиваніе весьма велики; въ жидкихъ, напротивъ, малы, и потому частицы жидкостей легко могутъ быть отдѣлены одна отъ другой; въ газахъ отталкиваніе болѣе притяженія, отъ чего эти тѣла стремятся занять большій объемъ.

Когда сожмемъ тѣло, будетъ ли оно твердое или жидкое, то атомы сблизятся, отъ чего притяженіе и отталкиваніе увеличатся, но не въ одинаковой степени: притяженіе возрастетъ менѣе отталкиванія. Такъ какъ эти силы были сначала равны, то теперь (т. е. послѣ сжатія) отталкиваніе возьметъ перевѣсъ надъ притяженіемъ, и тѣло возвратится къ прежней формѣ, какъ скоро перестанемъ тѣло сжимать. Точно такъ же легко понять возвращеніе тѣла къ первоначальному

виду, когда оно было растянуто. Такимъ образомъ, совершенная упругость газовъ и жидкостей вполнѣ объясняется атомистической гипотезой. Для твердыхъ тѣлъ надо допустить, что силы притяженія и отталкиванія дѣйствуютъ только на чрезвычайно малыхъ разстояніяхъ и при нѣкоторомъ относительномъ положеніи (припомнимъ явленія сцѣпленія [12]); какъ скоро атомы удалятся одинъ отъ другого далѣе извѣстнаго предѣла, или иначе расположатся въ отношеніи другъ друга, то перестаютъ оказывать взаимныя дѣйствія, и тѣло не возвращается къ первоначальной формѣ (припомнимъ явленія упругости [11]).

При нагрѣваніи тѣла, отталкивательная сила увеличивается и дѣлается болѣе притяженія; поэтому, атомы раздвигаются, и тѣло расширяется до тѣхъ поръ, пока обѣ силы опять не уравновѣсятся.

Скважность тѣлъ истекаетъ изъ того, что атомы другъ друга не касаются; физическія поры — ничто иное, какъ междуатомныя пространства.

Атомы надо предположить недѣлимыми, ибо въ противномъ случаѣ они отличались бы отъ тѣлъ только величиною, и мы принуждены были бы составить новую гипотезу для объясненія строенія атомовъ. Недѣлимость атомовъ, хотя и не заключаетъ въ себѣ ничего невозможнаго, но опытомъ не можетъ быть подтверждена, потому что мы не знаемъ ни одного тѣла, которое нельзя было бы дѣлить на части. Такъ какъ дѣлимость матеріи простирается весьма далеко, то необходимо допустить, что атомы чрезвычайно малы; мельчайшія матеріальныя частицы содержатъ еще неизчислимое множество атомовъ.

Непроницаемость принадлежитъ собственно только атомамъ, ибо есть много случаевъ, гдѣ это свойство въ отношеніи тѣлъ не оправдывается. Такъ, объемъ смѣси изъ воды и спирта менѣе суммы объемовъ этихъ жидкостей. 50 стакановъ воды и 50 стакановъ спирта даютъ $96^1/_2$ стакановъ смѣси; недостающіе $3^1/_2$ стакана размѣстились въ томъ же пространствѣ, гдѣ уже находятся $96^1/_2$ стакановъ смѣси.

Разницу въ плотности можно объяснить двумя причинами: частію тѣмъ, что атомы не одинаково сближены въ разныхъ тѣлахъ, частію различіемъ въ величинѣ самихъ атомовъ; такъ, изъ явленій химическихъ можно съ нѣкоторою вѣроятностью заключить, что атомъ золота въ $3^1/_2$ раза содержитъ болѣе вещества, нежели атомъ желѣза.

Изъ химическихъ же явленій выводятъ, что атомы группируются въ *частицы* или *молекулы*, изъ которыхъ уже состоятъ естественныя тѣла. Взаимныя дѣйствія молекулъ называются *частичными* или *молекулярными силами*.

Какъ объяснить, что твердыя тѣла оказываютъ сопротивленіе, когда ихъ растягиваютъ?—Почему упругое твердое тѣло, послѣ растягиванія, возвращается, когда его предоставятъ самому себѣ, къ первоначальной формѣ?—Если бросить вверхъ яблоко, находясь на движущемся пароходѣ, то упадетъ ли оно на прежнее мѣсто?—Перевести 18°, 10°, —20° и —25°, 6 реомюрова термометра на цельсіевъ и фаренгейтовъ.—Перевести 16°, 2°, —15° и —40° термометра Цельсія на другія термометрическія шкалы. — Сколько составятъ 59°, 20°, 0° и —8° термометра Фаренгейта при переводѣ на термометры Реомюра и Цельсія?—Отъ чего мокрая бумага рвется легче, чѣмъ сухая?—По какой причинѣ мѣлъ пристаетъ къ доскѣ, когда имъ пишутъ?—Почему воздухоплаватели, поднявшись на большую высоту надъ землею, не замѣчаютъ собственнаго движенія?—Зачѣмъ дѣлаютъ разбѣгъ, когда хотятъ перескочить ровъ?—Почему при быстрой ѣздѣ по мостовой тряска экипажа ощущается слабѣе, нежели при медленной?—Зачѣмъ при перелистываніи книги, или при счетѣ кредитныхъ билетовъ мочатъ немного пальцы?—Сколько граммовъ вѣситъ литръ воды?—Сколько килограммовъ вѣситъ одинъ кубич. метръ воды?—Какъ великъ объемъ 1 миллиграмма воды?—Отчего спѣлыя яблоки падаютъ съ дерева, когда его трясутъ?—Отчего во время сильныхъ бурь большія деревья легче ломаются, нежели травянистыя растенія?—Какъ провѣрить ватерпасъ?—Если бы притяженіе атомовъ, при всякомъ ихъ разстояніи другъ отъ друга, равнялось отталкиванію, то какое сопротивленіе представляли бы тѣла при ихъ растягиваніи и сжатіи?—Ноніусъ иногда устраиваютъ иначе, чѣмъ было выше описано; его, именно, берутъ равнымъ 11 дѣленіямъ шкалы и дѣлятъ на 10 равныхъ частей; какъ такимъ ноніусомъ производить измѣренія?—Дуга верніера занимаетъ 59°, а раздѣлена на 60 частей; что представляютъ дѣленія верніера?—Какъ построить верніеръ, котораго дѣленія означали бы десятки секундъ?—Нѣкоторая книга, содержащая 856 страницъ, имѣетъ 1½ дюйма толщины; опредѣлить среднюю толщину каждаго листка.—Найти толщину бумаги, на которой печатана эта книга—*Учебникъ Физики*—въ миллиметрахъ.

СЛОЖЕНІЕ И РАЗЛОЖЕНІЕ СИЛЪ.

34. Силы. Каждое покоющееся тѣло стремится, вслѣдствіе инерціи, пребывать въ покоѣ вѣчно, а если уже приведено въ движеніе, то имѣетъ стремленіе двигаться вѣчно, по прямой линіи и равномѣрно. Всякая причина, способная измѣнить покой или движеніе, то есть заставить тѣло выйти изъ покоя, или вмѣсто прямолинейнаго и равномѣрнаго движенія принять какое нибудь другое, называется *силою*. Силъ въ природѣ весьма много; назовемъ силу вѣтра, силу мускуловъ животныхъ, вѣсъ и проч.

Сказанное относится только къ тѣлу совершенно свободному, не стѣсненному никакими условіями [16]. Въ противномъ случаѣ, сила можетъ и не произвесть измѣненія покоя или движенія; такъ наприм., шаръ, висящій на нити, при отвѣсномъ ея положеніи, пребываетъ въ покоѣ, хотя находится подъ вліяніемъ вѣса; тѣло можетъ двигаться по горизонтальной плоскости прямолинейно и равномѣрно, не смотря на то, что подвержено дѣйствію той же силы. Вообще, измѣненія въ покоѣ или движеніи не происходитъ, если сила дѣйствуетъ по такому направленію, по которому несвободное тѣло двигаться не можетъ. Тогда дѣйствіе силы обнаруживается давленіемъ на препятствія. Въ приведенныхъ выше примѣрахъ: шаръ, натягивая нить, давитъ на точку привѣса, а тѣло, двигающееся по горизонтальной плоскости, производитъ давленіе на эту плос-

кость; въ обоихъ случаяхъ давленіе равно вѣсу тѣла. Всякая причина, оказывающая давленіе, также называется силою.

Между силами должно различать собственно силы или *двигатели*, способные привести тѣло въ движеніе, и *сопротивленія*, то есть препятствія движенію, напр. треніе и сопротивленіе воздуха.

Иногда одна и та же причина, при однихъ обстоятельствахъ, приводитъ тѣло въ движеніе, при другихъ препятствуетъ двигаться. Такъ, тѣло, ничѣмъ не подпертое, падаетъ вслѣдствіе собственнаго вѣса; когда же мы хотимъ поднять тѣло, то та же самая сила препятствуетъ поднятію.

Силы бываютъ *мгновенныя* и *непрерывныя*. Мгновенная сила отличается весьма большимъ напряженіемъ и непродолжительностью дѣйствія. Таковы: ударъ одного тѣла о другое, взрывъ пороха. Всякое тѣло, получивъ толчекъ отъ мгновенной силы, и предоставленное самому себѣ, начинаетъ двигаться равномѣрно и по прямой линіи, если только на пути не встрѣчаетъ сопротивленій. Непрерывная сила, хотя дѣйствуетъ съ напряженіемъ не очень большимъ, но впродолженіе значительнаго промежутка времени. Сюда принадлежатъ силы: тяжести, вѣтра, паровъ. Находясь подъ непрестаннымъ дѣйствіемъ такой силы, тѣло двигается криволинейно, или неравномѣрно, или то и другое вмѣстѣ. Такъ, тѣло, свободно падающее подъ вліяніемъ силы тяжести, двигается прямолинейно и неравномѣрно (именно ускорительно), а артиллерійскій снарядъ, выброшенный изъ орудія навѣснымъ выстрѣломъ, криволинейно и неравномѣрно.

Непрерывныя силы раздѣляются на *постоянныя* и *перемѣнныя*; первыя сохраняютъ одну и ту же величину, вторыя — измѣняются. Вѣсъ въ каждой точкѣ земной поверхности есть сила постоянная; притяженіе желѣза къ магниту есть сила перемѣнная, потому что при удаленіи или приближеніи желѣза къ магниту притяженіе измѣняется.

Иногда сила дѣйствуетъ не на все твердое тѣло, а на большее или меньшее число его частицъ; первыя частицы, получившія впечатлѣніе, заставляютъ двигаться слѣдующія, тѣ — слѣдующія и т. д., пока, наконецъ, все тѣло не придетъ въ движеніе. Время, впродолженіе котораго совершается такая передача, обыкновенно, весьма мало. Если сила велика, то части тѣла, непосредственно подвергшіяся дѣйствію силы, не успѣваютъ преодолѣть инерцію прочихъ, отрываются и двигаются однѣ. Этимъ объясняется, почему пуля, которою выстрѣлили изъ ружья, дѣлаетъ въ оконномъ стеклѣ только круглое отверстіе, между тѣмъ какъ та же пуля, брошенная рукою, разбиваетъ все стекло; разница въ дѣйствіи происходитъ здѣсь только отъ скорости. Если повѣсить на веревкѣ тонкую доску и выстрѣлить въ нее на близкомъ разстояніи изъ ружья, то доска останется въ покоѣ, хотя пуля въ ней сдѣлаетъ отверстіе. Если на стаканъ положить игральную карту, а на нее монету, и быстрымъ ударомъ сбросить карту со стакана, то монета не слетитъ вмѣстѣ съ картой, а упадетъ въ стаканъ.

35. Равновѣсіе; равнодѣйствующая сила. Пусть какое нибудь покоющееся тѣло подверглось дѣйствію нѣсколькихъ силъ въ одно и то же время; при этомъ оно можетъ остаться въ покоѣ, или придти въ движеніе. Въ первомъ случаѣ необходимо, чтобы силы взаимно уничтожались, или заставляли бы тѣло перемѣститься въ ту сторону, куда не позволяютъ ему двигаться препятствія. Если тѣло пришло въ движеніе, можно найти одну или болѣе силъ, которыя способны произвести то же самое движеніе, что и данныя силы. Такое состояніе тѣла, когда, при дѣйствіи на него силъ, оно остается въ покоѣ, называется *равновѣсіемъ*. Сила, которая можетъ произвести то же дѣйствіе, что совокупность другихъ силъ, называется *равнодѣйствующею*, а тѣ силы, которыя она замѣняетъ,—*составляющими*. Если напр. лодка, находясь подъ вліяніемъ трехъ силъ: теченія рѣки, силы гребца и силы паруса, надуваемаго вѣтромъ, остается въ покоѣ, то, значитъ, силы эти взаимно уравновѣшиваются. Если же лодка двигается, то сила, способная произвести такое же движеніе, была бы равнодѣйствующею силъ: теченія, гребца и вѣтра.

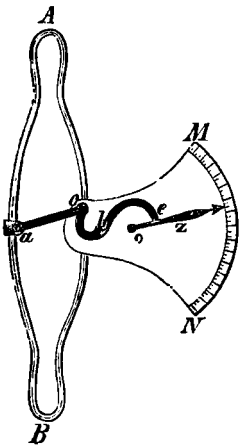
Изъ понятія о силѣ равнодѣйствующей выходитъ, что если ее заставить дѣйствовать по направленію, противоположному съ тѣмъ, по которому она дѣйствуетъ, то равнодѣйствующая сила уравновѣсится съ составляющими, и тѣло останется въ покоѣ.

36. Измѣреніе силъ. Понятіе о всякой величинѣ мы получаемъ только чрезъ измѣреніе, т. е. чрезъ сравненіе ея съ другой однородною величиною, принимаемой за единицу мѣры. Чтобы знать, какъ велика сила, надо ее измѣрить, т. е. опредѣлить, во сколько разъ она болѣе другой силы, принимаемой за единицу силъ.

Равными силами называются такія, которыя, будучи приложены къ одной и той же точкѣ, по противоположнымъ направленіямъ, взаимно уравновѣшиваются. Силу считаютъ *вдвое* болѣе другой, если она можетъ уравновѣситься двумя такими силами, какъ вторая, направленными въ сторону, противоположную первой. Если сила уравновѣшиваетъ три равныя силы, то она *въ три раза* болѣе каждой изъ нихъ, и т. д. Отсюда выходитъ, что всякую силу можно выразить числомъ, принявъ нѣкоторую другую силу за единицу мѣры. Обыкновенно силы выражаютъ вѣсомъ. Если какой нибудь человѣкъ говоритъ, что онъ можетъ поднять 5 пудъ, но не болѣе, то это показываетъ, что сила его мускуловъ выражается числомъ 5. Вѣтеръ производитъ давленіе на встрѣчаемыя имъ преграды—стѣны домовъ, паруса; это давленіе можно также выразить вѣсомъ. Если наприм. скажутъ, что вѣтеръ давитъ на стѣну съ силою 40 пудъ, то это значитъ, что стѣна испыты-

ваетъ такое же давленіе, какое испытала бы, еслибы была горизонтальна и по ея поверхности были расположены равномѣрно гири, общій вѣсъ которыхъ равенъ 40 пудамъ.

Силы весьма удобно измѣрять съ помощію *динамометровъ* или *силомѣровъ*, изъ которыхъ замѣтимъ динамометръ Ренье. Главнѣйшая часть этого прибора—стальная пружина AB (фиг. 24). Если одинъ конецъ ея A привяжемъ къ чему нибудь неподвижному, а на другой привѣсимъ гирю въ фунтъ, то пружина сожмется; отъ этого, прикрѣпленный къ ней, въ точкѣ a стержень ac повернетъ другой кривой стержень cbe, вращающійся около точки b, а этотъ заставитъ двигаться по дугѣ MN стрѣлку z, насаженную на ось o. Въ той точкѣ дуги, гдѣ стрѣлка остановится, дѣлаютъ знакъ. Потомъ, къ B привѣшиваютъ 2 фунта и опять замѣчаютъ положеніе стрѣлки z на дугѣ. Затѣмъ, берутъ гирю въ 3 фунта, 4 и т. д. и поступаютъ точно такъ же. Когда такимъ образомъ дѣленія на дугѣ MN обозначены, то легко измѣрить всякую силу. Если напр. одинъ конецъ A пружины прикрѣпимъ къ чему нибудь неподвижному, а другой—къ упряжи лошади, и заставимъ лошадь тянуть, то стрѣлка динамометра покажетъ ту силу, какую лошадь способна обнаружить по горизонтальному направленію. Если прикрѣпимъ точку A пружины къ экипажу, а въ B припряжемъ лошадь, то стрѣлка обозначитъ силу, потребную для того, чтобы везти экипажъ. Въ практикѣ нерѣдко можно встрѣтить приборы, употребляемые для измѣренія силы человѣка; они основаны также на упругости пружинъ. Динамометръ можетъ еще служить для взвѣшиванія. Для этого достаточно точку A закрѣпить, а къ B привязать взвѣшиваемый предметъ; стрѣлка z обозначитъ его вѣсъ [68].



Фиг. 24.

37. Дѣйствіе и противодѣйствіе. *Дѣйствіе* силы сопровождается всегда равнымъ ему *противодѣйствіемъ*. Гиря, вслѣдствіе собственнаго вѣса, давитъ на подставку, на которой лежитъ; подставка въ точкахъ соприкосновенія съ гирей сжимается, но, по причинѣ упругости, стремится принять прежній видъ, и поэтому въ свою очередь давитъ на гирю снизу вверхъ. Оба давленія должны быть равны, потому что если бы давленіе гири на подставку было болѣе давленія подставки на гирю, то гиря должна была бы опуститься, а подставка еще болѣе сжаться; обратно, то есть если бы давленіе снизу превышало давленіе сверху, подставка приподняла бы гирю. Итакъ, равновѣсіе возможно только въ томъ случаѣ, когда оба давленія равны.—Если гиря виситъ на нити, то натянутость нити также должна быть равна вѣсу гири.

Опытъ показываетъ, что жидкость имѣетъ стремленіе вытолкнуть изъ себя плавающее твердое тѣло и, слѣдовательно, производитъ на него давленіе снизу вверхъ; это давленіе тѣмъ болѣе, чѣмъ тѣло погружается

глубже. Плавающее тѣло, по причинѣ собственнаго вѣса, стремится падать и, слѣдовательно, дѣйствуетъ въ сторону, противоположную давленію жидкости, т. е. сверху внизъ. Для равновѣсія, обѣ силы—давленіе жидкости и вѣсъ плавающаго въ ней тѣла—должны быть равны.

Когда ударяемъ рукою по предмету, то рука и предметъ въ точкахъ соприкосновенія испытываютъ давленія; эти давленія равны между собою.

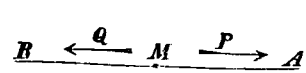
Сила приводящая какое нибудь тѣло въ движеніе, встрѣчаетъ сопротивленіе его инерціи; въ каждое мгновеніе дѣйствіе силы равняется противодѣйствію, которое оказываетъ инерція. Земля, какъ извѣстно, вращается около солнца по кривой линіи и постоянно стремится, вслѣдствіе инерціи, двигаться прямолинейно; взаимное притяженіе земли съ солнцемъ дѣлаетъ движеніе криволинейнымъ и неравномѣрнымъ; это притяженіе должно быть равно сопротивленію инерціи земного шара.

38. Сложеніе силъ, дѣйствующихъ на одну точку. *Равнодѣйствующая двухъ силъ, дѣйствующихъ въ одну сторону на точку, равна ихъ суммѣ и дѣйствуетъ въ ту же сторону.* Это слѣдуетъ изъ способа измѣренія силъ; если напр. одна сила выражается числомъ 7, а другая 5, то, вмѣсто первой силы, можно подставить 7 равныхъ силъ, принимаемыхъ за единицу мѣры, а, вмѣсто второй,—5 такихъ же силъ; тогда по одному направленію будетъ дѣйствовать 12 равныхъ силъ или, что все равно, одна сила, выраженная числомъ 12. Для разъясненія, приводимъ примѣръ. Пусть къ столбу привязаны двѣ веревки, за одну тянутъ 7 лошадей равной силы, а за другую—5 такихъ же лошадей и потому же самому направленію. Тогда столбъ будетъ выдерживать давленіе, равное тому, какое бы онъ испыталъ, если бы была одна веревка, за которую тянутъ 12 лошадей. Назвавъ, вообще, чрезъ P и Q двѣ составляющія силы, а чрезъ R—ихъ равнодѣйствующую, будемъ имѣть:

$$R = P + Q.$$

Равнодѣйствующая двухъ силъ, дѣйствующихъ на точку въ противныя стороны, равна ихъ разности и дѣйствуетъ въ сторону большей. Для доказательства назовемъ чрезъ P большую силу, дѣйствующую на точку M (фиг. 25) отъ M къ A, а чрезъ Q—меньшую, имѣющую противоположное направленіе отъ M къ B, и замѣнимъ первую двумя силами Q и R, дѣйствующими въ одну сторону съ P, такъ чтобы

$$P = Q + R.$$



Фиг. 25.

Тогда будемъ имѣть всего три силы:

$$Q,\ Q \text{ и } R.$$

Первыя двѣ, будучи равны и прямо противны, взаимно уничтожатся,

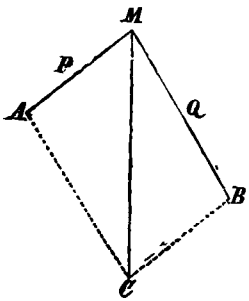
*

и останется только R, которая, слѣдовательно, есть равнодѣйствующая P и Q. Изъ предыдущаго равенства находимъ

$$R = P - Q.$$

Пусть къ столбу привязаны двѣ веревки; за одну тянутъ 7 лошадей равной силы, за другую—5 такихъ же лошадей въ противоположную сторону. Дѣйствіе не измѣнится если будетъ только одна веревка, которую натягиваютъ только 2 лошади—въ ту же сторону, куда дѣйствовали прежде 7 лошадей.

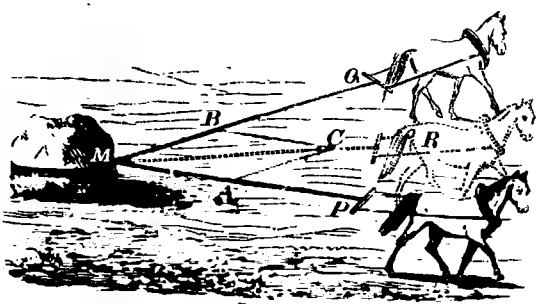
39. *Равнодѣйствующая двухъ силъ, дѣйствующихъ на точку подъ угломъ, пропорціональна діагонали параллелограмма, построеннаго на линіяхъ, пропорціональныхъ составляющимъ силамъ и отложенныхъ по направленіямъ этихъ силъ, и дѣйствуетъ по направленію діагонали.* Назовемъ чрезъ P и Q двѣ силы, дѣйствующія на точку M (фиг. 26); отложимъ отъ этой точки произвольную линію MA по направленію силы P, и потомъ, по направленію силы Q, линію MB, во столько разъ большую линіи MA, во сколько Q болѣе P; затѣмъ, построимъ параллелограммъ $MBCA$ на линіяхъ MB и MB и проведемъ діагональ MC. Направленіе равнодѣйствующей силы R совпадаетъ съ діагональю MC. Величина ея можетъ быть вычислена по одной изъ пропорцій:



Фиг. 26.

$$\frac{R}{Q} = \frac{MC}{MB}, \quad \frac{R}{P} = \frac{MC}{MA}$$

Для примѣра, пусть двѣ лошади, или вообще какіе нибудь два двигателя P и Q (фиг. 27) тянутъ веревки, привязанныя къ камню M, одинъ съ силою 12, другой—18 пудъ; опредѣлимъ давленіе, испытываемое камнемъ. Откладываемъ произвольную линію MA и потомъ MB, въ $1^1/_2$ раза бо́льшую, потому что во столько же разъ 18 болѣе 12; на этихъ линіяхъ строимъ параллелограммъ $MBCA$. Діагональ MC изобразитъ направленіе равнодѣйствующей. Если MC болѣе MA въ $2^1/_4$ раза, то величина равнодѣйствующей должна быть



Фиг. 27.

болѣе 12-ти пудовъ также въ $2^1/_4$ раза и, слѣдовательно, будетъ равна 27 пудамъ. Итакъ, камень выдерживаетъ отъ данныхъ силъ P и Q такое давленіе, какое испыталъ бы, если бы по діагонали MC дѣйствовала сила R, равная 27 пудамъ.

Всѣ извѣстныя доказательства—какъ теоретическія, такъ и основанныя на опытѣ—предложенной истины, извѣстной въ механикѣ подъ именемъ *параллелограмма силъ*, не довольно точны.

Для сложенія многихъ силъ, дѣйствующихъ на точку, должно найти равнодѣйствующую двухъ какихъ нибудь силъ, потомъ равнодѣйствующую найденной равнодѣйствующей и третьей изъ данныхъ силъ и т. д.

40. Разложеніе силъ. Каждую силу можно разложить на двѣ или болѣе другихъ силъ, и притомъ весьма различными способами. Поэтому, чтобы рѣшеніе было опредѣленное, необходимо дать какія нибудь условія. Такимъ образомъ можно составить множество вопросовъ, изъ которыхъ рѣшимъ два.

1) Разложить силу R, дѣйствующую на точку M (фиг. 26) по линіи MC, на двѣ силы P и Q по направленіямъ MA и MB. Въ этомъ вопросѣ величины составляющихъ силъ неизвѣстны, но зато даны ихъ направленія. Откладываемъ произвольной величины линію MC; изъ точки C проводимъ линіи CB и CA, соотвѣтственно параллельныя MA и MB. Тогда линіи MA и MB изобразятъ силы P и Q, то есть сила P будетъ относиться къ R, какъ MA къ MC, а Q—къ R, какъ MB къ MC; отсюда можно вычислить P и Q.

2) Разложить силу R на двѣ P и Q, которыхъ величины даны, а направленія требуется найти. Беремъ три линіи r, p и q, отношенія между которыми равны отношеніямъ силъ R, P и Q. Потомъ, откладываемъ линію MC, равную r, по направленію силы R. Описываемъ изъ точки M дугу радіусомъ p, а изъ точки C—другую дугу радіусомъ q, до пересѣченія обѣихъ дугъ въ A. Точку A соединяемъ съ M и C прямыми линіями MA и AC. Изъ точки M проводимъ линію MB, параллельную AC. Такимъ образомъ, направленія составляющихъ P и Q будутъ соотвѣтственно MA и MB.

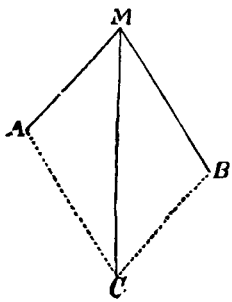
41. Сложеніе скоростей. Опытъ показываетъ, что скорости пропорціональны силамъ, то есть, съ увеличеніемъ силы, скорость, сообщаемая тѣлу, увеличивается во столько же разъ. Отсюда слѣдуетъ:

1) Тѣло, получившее отъ двухъ силъ двѣ скорости по одному направленію, будетъ двигаться со скоростью, равною суммѣ сообщенныхъ скоростей; если напр. одна сила могла сообщить скорость 3 фута, а другая—5 футовъ, то тѣло будетъ имѣть скорость 8 футовъ.

2) Получивъ двѣ скорости по противнымъ направленіямъ, тѣло дви-

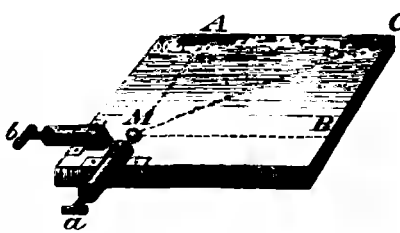
гается въ сторону большей силы, со скоростью, равною разности сообщенныхъ скоростей. Когда напр. одна сила стремится сообщить тѣлу скорость 7 ф., а другая, дѣйствующая въ противную сторону,—10 ф., то тѣло будетъ двигаться со скоростью 3 ф. въ сторону большей силы.

3) Если силы, приложенныя къ точкѣ M (фиг. 28), составляютъ нѣкоторый уголъ, то по направленіямъ ихъ должно отложить линіи MA и MB, равныя скоростямъ, и точка M будетъ двигаться по MC, діагонали параллелограмма, построеннаго на линіяхъ MA и MB, со скоростью, равной этой самой линіи. Другими словами: пусть одна сила заставляетъ тѣло M пробѣжать въ одну секунду линію MA, другая въ то же время—линію MB; при совокупномъ ихъ дѣйствіи, тѣло чрезъ секунду придетъ въ C.



Фиг. 28.

Законъ параллелограмма скоростей довольно удовлетворительно доказывается на опытѣ. Къ горизонтальной деревянной доскѣ ACB (фиг. 29) прикрѣпляютъ двѣ трубки a и b, содержащія пружины, на подобіе тѣхъ, какія употребляются въ дѣтскихъ пистолетахъ. На пересѣченіи осей этихъ трубокъ кладутъ на доскѣ шаръ M изъ слоновой кости. Если натянуть пружину a и потомъ спустить, то шаръ M получитъ толчекъ, отъ котораго станетъ двигаться по линіи MA, лежащей на продолженіи оси трубки.



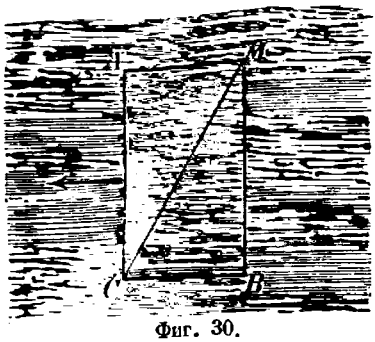
Фиг. 29.

Подобнымъ образомъ пружина b можетъ сообщить шару движеніе по MB. Если же шаръ получитъ толчки, одновременно отъ обѣихъ пружинъ, то будетъ двигаться по діагонали MC.

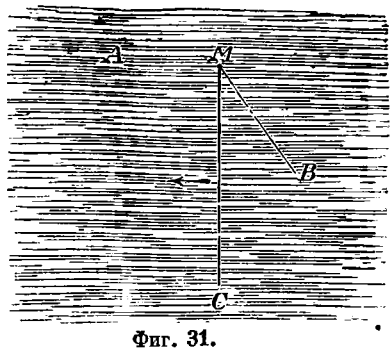
Законъ параллелограмма скоростей относится только къ прямолинейному и равномѣрному движенію.

Для разъясненія правилъ сложенія скоростей, разсмотримъ движеніе лодки, управляемое теченіемъ рѣки и силой гребца. Пусть на стоячей водѣ гребецъ можетъ сообщить лодкѣ скорость 8 футовъ въ секунду; плывя внизъ по теченію рѣки, которая уноситъ лодку со скоростью 5 футовъ въ секунду, онъ будетъ перемѣщаться, отъ одновременнаго дѣйствія собственной силы и теченія воды, на 13 футовъ каждую секунду; гребя противъ теченія, онъ можетъ заставить лодку подвигаться впередъ, впродолженіе того же времени, только на 3 фута. Пусть теперь

гребецъ хочетъ переправиться на противоположную сторону рѣки; если онъ будетъ грести по линіи MB (фиг. 30), между тѣмъ какъ теченіе имѣетъ направленіе отъ M къ A, то лодка пойдетъ по діагонали MC параллелограмма, построеннаго на линіяхъ: MB, равной 8 футамъ, и MA, равной 5 фут.,—со скоростью, равною этой самой діагонали, которая въ данномъ случаѣ, приблизительно, содержитъ 10 футовъ. Если бы гребецъ хотѣлъ переѣхать рѣку по линіи MC (фиг. 31), перпенди-



Фиг. 30.

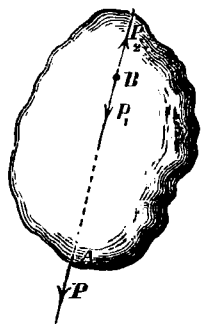


Фиг. 31.

кулярно къ теченію, то долженъ былъ бы дать лодкѣ такое направленіе MB, нѣсколько противъ теченія, чтобы равнодѣйствующая скорость совпадала съ линіею MC.

42. Перенесеніе точки приложенія силы. *Точка приложенія силы, дѣйствующей на твердое тѣло, можетъ быть перенесена въ другую точку, лежащую по направленію силы въ томъ же тѣлѣ, безъ измѣненія дѣйствія.*

Пусть на точку A (фиг. 32) дѣйствуетъ сила P; приложимъ къ точкѣ B, лежащей на направленіи этой силы, двѣ другія P_1 и P_2, взаимно противоположныя, равныя силѣ P и совпадающія съ ея направленіемъ. Эти три силы произведутъ то же дѣйствіе, что и одна данная P; изъ нихъ силы P и P_2, какъ равныя и прямопротивныя, взаимно уничтожатся; слѣдовательно, сила P_1, приложенная къ B, обнаружитъ то же дѣйствіе, что и сила P, дѣйствующая на точку A.



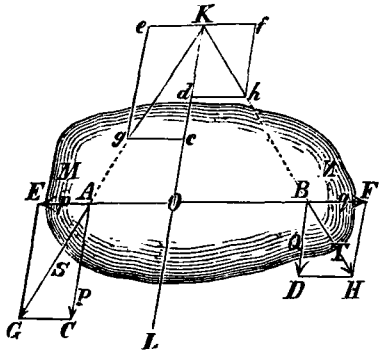
Фиг. 32.

Въ справедливости этой истины также убѣждаетъ насъ ежедневный опытъ; если будемъ тянуть по горизонтальному направленію веревку, привязанную къ какому нибудь тѣлу, то мы должны употребить всегда одну и ту же силу, чтобы сдвинуть тѣло съ мѣста, за какую бы точку веревки мы ни тянули.

43. Сложеніе двухъ силъ параллель-

ныхъ, направленныхъ въ одну сторону. *Равнодѣйствующая двухъ параллельныхъ силъ, дѣйствующихъ въ одну сторону, равна ихъ суммѣ и имѣетъ то же направленіе; точка ея приложенія находится на линіи, соединяющей точки приложенія силъ составляющихъ; разстоянія точки приложенія силы равнодѣйствующей до точекъ приложенія силъ составляющихъ обратно пропорціональны самимъ составляющимъ силамъ.* Пусть на тѣло MN (фиг. 33), въ точкахъ A и B дѣйствуютъ двѣ параллельныя силы P и Q: назовемъ равнодѣйствующую ихъ чрезъ R, приложенную въ точкѣ O. Надо доказать, что

$$R = P + Q, \frac{OB}{OA} = \frac{P}{Q}.$$



Фиг. 33.

Чтобы найти равнодѣйствующую силъ P и Q надо замѣнить силы P и Q другими силами, которыя были бы приложены къ одной и той же точкѣ, потому что тогда будетъ можно воспользоваться теоремою параллелограмма силъ [39]. Проведемъ чрезъ точки A и B прямую AB и приложимъ къ концамъ ея двѣ равныя и прямопротивныя силы p и q, дѣйствующія по направленію этой прямой: дѣйствіе данныхъ силъ P и Q отъ этого не измѣнится. Отложивъ линіи AC, BD, AE, и BF, соотвѣтственно пропорціональныя силамъ: P, Q, p и q, и построивъ параллелограммы [39], мы найдемъ силы S и T, изображаемыя линіями AG и BH, и производящія то же дѣйствіе, что и данныя силы P и Q. Продолжимъ линіи AG и BH до взаимнаго ихъ пересѣченія въ точкѣ K и въ нее перенесемъ точки приложенія силъ S и T; дѣйствіе отъ этого не перемѣнится [42]. Отложимъ линіи Kg и Kh, равныя AG и BH, потомъ проведемъ чрезъ точку K линію ef, параллельную AB, и KL, параллельную даннымъ силамъ P и Q. Перенесенныя силы S и T разложимъ [40] по направленіямъ ef и KL. Тогда построятся параллелограммы ec и fd, равные EC и FD, а потому линіи Kc, Kd, Ke и Kf изобразятъ силы P, Q, p и q, имѣющія общую точку приложенія K и производящія то же дѣйствіе, что и данныя силы P и Q, когда онѣ были еще приложены къ точкамъ A и B. Равныя силы p и q, какъ дѣйствующія на одну и ту же точку K въ противныя стороны, взаимно уничтожаются: слѣдовательно, остаются только двѣ силы P и Q, на-

правленныя по одной и той же линіи KL, а потому ихъ равнодѣйствующая равна ихъ суммѣ [38] и дѣйствуетъ въ ту же сторону. Точку ея приложенія можно перенести въ O, лежащую на пересѣченіи линій KL и AB,—безъ измѣненія дѣйствія этой силы. Такимъ образомъ, доказана первая часть теоремы, т. е., что равнодѣйствующая двухъ параллельныхъ силъ, дѣйствующихъ въ одну сторону, равна ихъ суммѣ и что точка ея приложенія лежитъ на линіи, соединяющей точки приложенія силъ составляющихъ. Намъ остается только разсмотрѣть соотношеніе между линіями AO и OB и силами P и Q.

По параллельности линій dh и OB, будемъ имѣть изъ треугольника KOB:

$$\frac{dh}{Kd} = \frac{OB}{KO}.$$

Точно такъ же изъ треугольника KAO, въ которомъ gc параллельна AO, найдемъ:

$$\frac{Kc}{gc} = \frac{KO}{OA}.$$

Перемноживъ два послѣднія равенства и замѣчая, что $gc = dh$, получимъ, послѣ сокращенія на одинаковые множители:

$$\frac{Kc}{Kd} = \frac{OB}{OA}.$$

Такъ какъ стороны параллелограмма силъ пропорціональны изображаемымъ ими силамъ, то

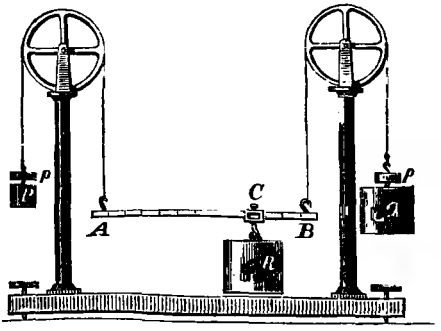
$$\frac{Kc}{Kd} = \frac{P}{Q};$$

изъ сравненія двухъ послѣднихъ пропорцій находимъ:

$$\frac{OB}{OA} = \frac{P}{Q}.$$

Эта пропорція выражаетъ вторую часть теоремы, то есть, что разстоянія отъ точки приложенія силы равнодѣйствующей до точекъ приложенія силъ составляющихъ обратно пропорціональны составляющимъ силамъ.

Въ справедливости этой теоремы можно убѣдиться на опытѣ. Металлическій стержень AB (фиг. 34) привязываютъ оконечностями къ двумъ параллельнымъ между собою веревкамъ, перекинутымъ черезъ колеса и натягиваемыхъ двумя гирьками p, такого вѣса, что стержень AB остается въ покоѣ. Если въ точкѣ C стержня



Фиг. 34.

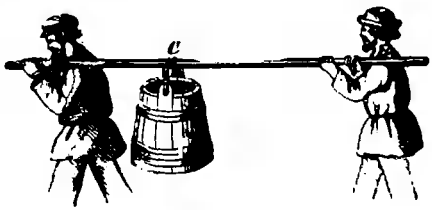
привѣсимъ грузъ R, то для равновѣсія нужно еще навѣсить на обѣ веревки гири P и Q, такого вѣса, чтобы $P+Q=R$, и чтобы

$$P:Q=CB:CA.$$

Здѣсь сила R равна и прямо противна равнодѣйствующей силъ P и Q. Пусть R равна 1000 граммамъ, и CB въ три раза менѣе AC; для равновѣсія нужно, чтобы $P=250$ грам. и $Q=750$ грам.

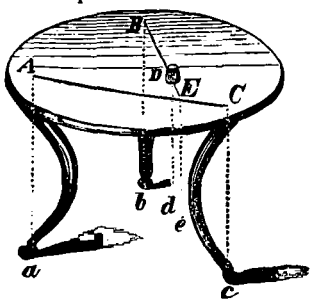
44. Разложеніе параллельныхъ силъ. Всякая сила R можетъ быть разложена на другія двѣ параллельныя силы весьма различными способами, лишь бы только сумма ихъ равнялась данной силѣ R, а разстоянія точекъ ихъ приложенія до точки приложенія R были обратно пропорціональны этимъ силамъ. Чтобы вопросъ имѣлъ опредѣленное рѣшеніе, необходимо должны быть даны какія нибудь условія; если напр. назначены точки приложенія искомыхъ составляющихъ силъ, то можно найти величины этихъ силъ; равнымъ образомъ, по одной изъ двухъ силъ и точкѣ ея приложенія можно опредѣлить другую силу и точку ея приложенія; и т. д.

Пусть два носильщика несутъ на шестѣ AB (фиг. 35) грузъ Q въ 6 пудъ, привѣшенный въ C, такъ что AC составляетъ $^1/_2$ CB; требуется опредѣлить усиліе, употребляемое каждымъ носильщикомъ. Разлагая вѣсъ груза Q на двѣ силы a и b, дѣйствующія соотвѣтственно на точки A и B, найдемъ, что a должна быть болѣе b вдвое [43]. Слѣдовательно, a равна 4 пуд., $b=2$ пуд. Итакъ, носильщикъ A поддерживаетъ 4 пуда, а B—только 2.



Фиг. 35.

Опредѣлимъ еще давленіе, испытываемое ножками стола ABC (фиг. 36), на которомъ лежитъ грузъ Q въ точкѣ D. Пусть ножекъ только три, и онѣ касаются пола въ точкахъ a, b и c. Изъ этихъ точекъ возставимъ отвѣсныя линіи до пересѣченія ихъ съ плоскостью стола въ A, B и C. Чрезъ точки B и D проведемъ прямую линію до пересѣченія въ точкѣ E съ другой прямой, соединяющей A и C. Силу Q можно разложить на двѣ отвѣсныя b и e, приложенныя къ B и E. Если BD болѣе DE въ два раза, то b во столько же разъ будетъ менѣе e, откуда выходитъ, что $b=\frac{Q}{3}$ и $e=\frac{2}{3}Q$. Силу e также разложимъ на двѣ силы a и c, прилагая ихъ къ A и C; при томъ нужно, чтобы c было во столько



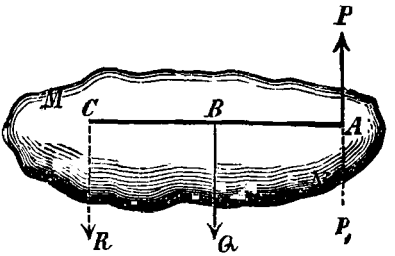
Фиг. 36.

разъ болѣе a, во сколько EC менѣе AE; если напр. $EC : AE = 3 : 8$, то $a = \frac{3}{11} e$ и $c = \frac{8}{11} c$, откуда, замѣнивъ e его величиною, получимъ окончательно

$$a = \frac{6}{33} Q, \quad c = \frac{16}{33} Q.$$

Такимъ образомъ, точка a выдерживаетъ давленіе $\frac{2}{11} Q$, b — $\frac{1}{3} Q$ и c — $\frac{16}{33} Q$.

45. Сложеніе двухъ параллельныхъ силъ, направленныхъ въ противоположныя стороны. Пусть на тѣло MN (фиг. 37) дѣйствуютъ параллельныя между собою силы P и Q въ противоположныя стороны, и пусть Q болѣе P. Соединимъ точки приложенія A и B силъ прямою AB и продолжимъ ее за большую силу Q. Теперь разложимъ силу Q на двѣ другія P_1 и R, что можно исполнить весьма различно. Пусть одна изъ силъ P_1 равна P и приложена къ A; тогда другая сила R и точка ея приложенія C могутъ быть опредѣлены. Такъ какъ Q есть равнодѣйствующая силъ P и R, то [43]



Фиг. 37.

$$Q = P^1 + R.$$

$$P_1 : R = CB : AB. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

По условію $P_1 = P$; слѣдовательно,

$$R = Q - P \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2)$$

$$CB = AB\frac{P}{R} = AB.\frac{P}{Q-P} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Эти равенства опредѣляютъ величину силы R и положеніе точки C. Такимъ образомъ, вмѣсто прежнихъ двухъ силъ, мы получимъ три: P_1, P и Q. Первыя двѣ, какъ равныя и прямопротивныя, взаимно уничтожаются; слѣдовательно, сила R есть равнодѣйствующая силъ P и Q. Отсюда выходитъ, что *равнодѣйствующая двухъ параллельныхъ силъ, направленныхъ въ противныя стороны, равна ихъ разности и дѣйствуетъ въ сторону бо́льшей; точка приложенія равнодѣйствующей лежитъ на линіи, соединяющей точки приложенія силъ составляющихъ, за бо́льшею силою.* Изъ пропорціи (1) выходитъ

$$P_1 + R : P_1 = CB + AB : CB$$

или

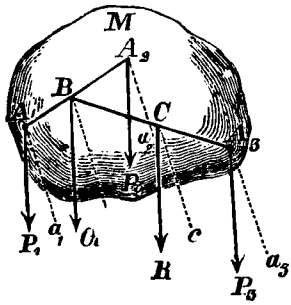
$$Q : P = CA : CB,$$

то есть, *разстоянія точки приложенія силы равнодѣйствующей*

до точекъ приложенія силъ составляющихъ обратно пропорціональны составляющимъ силамъ.

Изложенный пріемъ не годится для того случая, когда силы P и Q равны, ибо невозможно одну изъ нихъ, напр.. Q, разложить на двѣ, изъ которыхъ одна равнялась бы P. Поэтому и формулы (2) и (3). справедливыя вообще, даютъ нелѣпые выводы при положеніи $P = Q$. Въ разсматриваемомъ случаѣ равнодѣйствующей нѣтъ вовсе; другими словами: двѣ параллельныя силы равныя и противоположныя нельзя замѣнить одною. Дѣйствительно, если бы существовала такая равнодѣйствующая, то невозможно было бы указать причины. почему она должна дѣйствовать въ сторону одной изъ двухъ равныхъ составляющихъ, а не другой. Двѣ силы равныя, параллельныя и направленныя въ противоположныя стороны, называются *парою силъ*.

46. Центръ параллельныхъ силъ. Розысканіе равнодѣйствующей трехъ и болѣе параллельныхъ силъ не представляетъ никакого затрудненія. Возьмемъ для примѣра три силы P_1, P_2 и P_3 (фиг. 38), дѣйствующія въ точкахъ A_1, A_2 и A_3 на тѣло M. Ищемъ сначала Q. равнодѣйствующую P_1 и P_2; она будетъ равна ихъ суммѣ; точка ея приложенія B должна дѣлить линію A_2A_1 обратно пропорціонально P_1 и P_2. Слагая потомъ силы Q и P_3, найдемъ равнодѣйствующую R силъ P_1. P_2 и P_3. Величина равнодѣйствующей и мѣсто точки ея приложенія C зависитъ только отъ величины составляющихъ силъ и взаимнаго разстоянія точекъ ихъ приложенія. Поэтому. если мы, не измѣняя величины данныхъ силъ, повернемъ ихъ около точекъ ихъ приложенія, заставивъ ихъ дѣйствовать по линіямъ A_1a_1, A_2a_2 и A_3a_3, между собою параллельнымъ. то точка приложенія равнодѣйствующей останется на томъ же мѣстѣ: хотя равнодѣйствующая получитъ иное направленіе и будетъ, именно, дѣйствовать по линіи Cc, параллельной A_1a_1, A_2a_2 и A_3a_3, но величина ея не перемѣнится. Точка приложенія равнодѣйствующей параллельныхъ силъ называется *центромъ параллельныхъ силъ*.



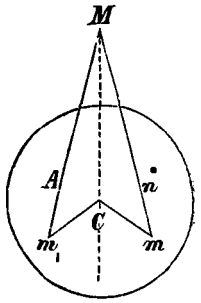
Фиг. 38.

Три равныя силы, приложенныя къ точкѣ, образуютъ одна съ другой уголъ 120°; чему равна равнодѣйствующая?—На полу лежитъ гиря въ 10 пудовъ; нѣкто, вѣсившій 4 пуда, сталъ на эту гирю; какъ велико теперь давленіе, испытываемое тѣмъ мѣстомъ пола, на которомъ лежитъ гиря?—Самый большой грузъ, который можетъ поднять одинъ работникъ, вѣситъ 5 пудовъ; онъ усиливается поднять гирю въ 7 пуд.; какъ велико давленіе, испытываемое при этомъ тѣмъ мѣстомъ пола, на которое опирается гиря? — Линія AB (фиг. 33) равна 10 дюймамъ, $P=6$ пудамъ и $Q=4$ пуд.; какъ велика равнодѣйствующая, и гдѣ ея точка приложенія?—Если погрузить дуло ружья въ воду и выстрѣлить, то стволъ обыкновенно разры-

вается; отчего это?—Почему при вѣтрѣ дождь падаетъ косвенно? — Пароходъ, двигаясь по теченію рѣки, пробѣгаетъ въ продолженіе 3 часовъ 45 минутъ 60 верстъ, а плывя противъ теченія, проходитъ тоже разстояніе въ $4^1/_4$ часа; какъ велика скорость теченія рѣки?—Почему при стряхиваніи платья, покрытаго снѣгомъ, снѣжинки съ платья соскакиваютъ? — Отъ чего ударами палки по платью можно выколотить изъ него пыль?—За какія оглобли—горизонтальныя или наклонныя—лошади легче везти экипажъ? — Величина равнодѣйствующей двухъ силъ, дѣйствующихъ на точку, зависитъ, какъ извѣстно, отъ взаимнаго ихъ наклоненія; при какихъ относительныхъ положеніяхъ составляющихъ силъ, равнодѣйствующая сила имѣетъ наибольшее и наименьшее значенія? — Найти равнодѣйствующую двухъ силъ: 8 и 6 фунт., дѣйствующихъ на точку по двумъ взаимно перпендикулярнымъ направленіямъ?—Разложить силу 20 пудъ на двѣ равныя, взаимно перпендикулярныя силы. — Разложить силу 18 фунтовъ на двѣ параллельныя, дѣйствующія въ одну сторону, силы, чтобы одна изъ нихъ равна была $13^1/_2$ фунт., а разстояніе между точками приложенія составляющихъ равнялось бы 10 дюйм.— Разложить силу 25 килограммовъ на двѣ параллельныя, направленныя въ противоположныя стороны, силы, изъ которыхъ одна равнялась бы 35 килограм., а разстояніе точки ея приложенія до точки приложенія 25 килогр. было бы равно 1 метру.—При вычисленіи равнодѣйствующей R (фиг. 26), можно воспользоваться каждой изъ двухъ пропорцій; доказать, что оба вывода будутъ одинаковы.—Можно ли одну силу замѣнить парою силъ?—На нити виситъ шаръ; какое направленіе должна имѣть равнодѣйствующая сила приложенныхъ къ шару силъ, чтобы тѣло это оставалось въ покоѣ?—На неподвижную ось насажено колесо; при какомъ направленіи, сила не можетъ произвести движеніе колеса?—При доказательствѣ теоремы §-а 43 силы S и T, по перенесеніи точекъ приложенія въ K, были *разложены*; доказать ту же теорему, *сложивъ* силы S и T посредствомъ параллелограмма силъ.—Въ § 44, при опредѣленіи давленія на ножки стола, силу Q можно разложить еще двумя способами, кромѣ указаннаго, начиная разложеніе силы Q не съ точки B, а съ C или съ A; доказать, что во всѣхъ способахъ разложенія результаты получатся одинаковые.

О ТЯЖЕСТИ.

47. Тяжесть. По гипотезѣ Ньютона [15], между матеріальными частицами существуетъ взаимное притяженіе. Поэтому, всѣ матеріальныя частицы, изъ которыхъ состоитъ земной шаръ A (фиг. 39), притягиваютъ всякую другую матеріальную частицу M внутри или внѣ его. Такимъ образомъ, частица M подвергается дѣйствію безчисленнаго множества силъ, направленныхъ отъ точки M къ каждой изъ матеріальныхъ частицъ земного шара. Въ механикѣ, при пособіи высшей математики, доказывается, что равнодѣйствующая всѣхъ этихъ силъ равна тому притяженію, какое обнаружилъ бы центръ земли, если бы въ немъ была сосредоточена вся матерія земного шара. Эта равнодѣйствующая называется *силою тяжести* или просто *тяжестью*; ея направленіе совпадаетъ съ отвѣсною линіею [5]. Такимъ образомъ, по гипотезѣ Ньютона, тяжесть, то есть первоначальная причина вѣса [30], есть равнодѣйствующая всѣхъ при-



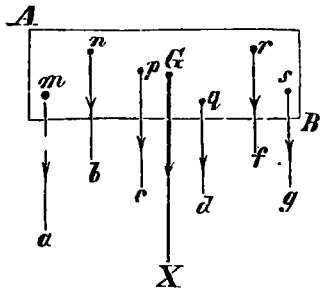
Фиг. 39.

тяженій, которыя обнаруживаютъ матеріальныя частицы земного шара на какую нибудь матеріальную же частицу. Сила тяжести, по мѣрѣ углубленія во внутренность земли, уменьшается, а въ центрѣ земного шара она даже равна нулю.

Всѣ эти выводы получены при помощи высшей математики. Можно, однакожъ, посредствомъ весьма простыхъ соображеній, показать, что равнодѣйствующая всѣхъ притяженій частицъ однороднаго шара на какую нибудь матеріальную частицу *направляется* чрезъ центръ. Пусть внѣ земли A (фиг. 39) находится матеріальная частица M; она будетъ притягиваться матеріальною частицею m шара по линіи Mm. Проведемъ мысленно плоскость чрезъ точки M, m и центръ C; на этой плоскости всегда можно отыскать, по причинѣ симметричности шара, такую частицу m_1, которая будетъ одинаково съ частицею m отстоять отъ M и C, такъ что $Mm = Mm_1$ и $Cm = Cm_1$. Тогда притяженіе m и m_1 на M будутъ равны; а потому равнодѣйствующая этихъ притяженій раздѣлитъ по поламъ уголъ mMm_1 и, слѣдовательно, пройдетъ чрезъ центръ шара C. То же самое можно сказать о всякой другой частицѣ n, потому что, гдѣ бы она ни лежала, всегда найдется симметричная ей частица, такъ что равнодѣйствующая притяженій обѣихъ частицъ будетъ также направляться чрезъ центръ. Слѣдовательно, общая равнодѣйствующая притяженій всѣхъ частицъ однороднаго шара проходитъ чрезъ его центръ. Такъ какъ земля не есть совершенный шаръ и неоднородна въ разныхъ частяхъ, то и приведенное правило для земли не совсѣмъ справедливо.

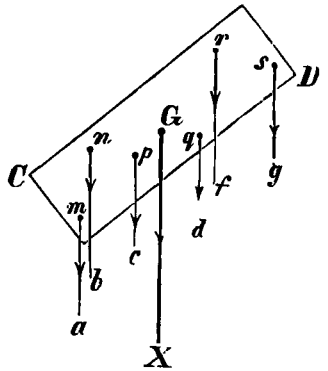
48. Взаимное наклоненіе отвѣсныхъ линій. Направленія отвѣсныхъ линій въ разныхъ мѣстахъ земли не параллельны между собою и могутъ образовать всякой величины углы, смотря по тому, изъ какихъ точекъ земной поверхности—близкихъ другъ къ другу, или удаленныхъ—эти линіи проведены. Посмотримъ, какъ велико должно быть разстояніе между двумя точками поверхности земли, чтобы уголъ, составленный отвѣсами, былъ менѣе предѣла точности лучшихъ астрономическихъ инструментовъ; пусть напр. этотъ уголъ $= 1''$. Радіусъ земли приблизительно равенъ 5970 верстамъ, а окружность большого круга земного шара $= 2\pi.5970$ в., гдѣ π есть отношеніе окружности къ діаметру. Раздѣливъ $2\pi.5970$ в. на число секундъ въ окружности или на произведеніе $360 . 60 . 60$, найдемъ около 100 футовъ. Итакъ, если двѣ точки земной поверхности отстоятъ одна отъ другой менѣе, чѣмъ на 100 футовъ, то безъощутительной погрѣшности можно принять, что отвѣсныя линіи въ этихъ точкахъ между собою параллельны; по крайней мѣрѣ, непараллельность ихъ не можетъ быть замѣчена точнѣйшими инструментами.

49. Вѣсъ; центръ тяжести. Вообразимъ твердое тѣло AB (фиг. 40); матеріальныя частицы его m, n, p, q, r, s, и проч. притягиваются къ центру земли по отвѣснымъ направленіямъ: ma, nb, pc, qd, rf, sg, которыя можно принять за параллельныя, если тѣло не болѣе 100 футовъ въ длину [48]. Мы имѣемъ здѣсь безконечное множество чрезвычайно малыхъ и параллельныхъ силъ—столько силъ, сколько въ тѣлѣ AB матеріальныхъ частицъ. Но какъ бы ихъ много ни было, равнодѣйствующая равна суммѣ ихъ [46] и дѣйствуетъ въ ту же сторону, а направленіе ея GX параллельно линіямъ ma, nb, и проч. Эта сила называется *вѣсомъ* тѣла, а G, точка приложенія вѣса,—*центромъ тяжести* тѣла.



Фиг. 40.

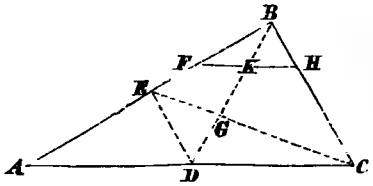
Если мы поставимъ тѣло AB въ положеніе CD, показанное на фигурѣ 41, то очевидно точки m, n, p, q, r, s не перемѣнятъ своего положенія въ тѣлѣ, а силы, приложенныя къ нимъ, оставаясь отвѣсными, сохранятъ свою величину; слѣдовательно, равнодѣйствующая ихъ или вѣсъ тѣла также не измѣнится, и точка приложенія G будетъ на прежнемъ мѣстѣ [46]. Такимъ образомъ, центръ тяжести твердаго тѣла есть точка совершенно опредѣленная, которой положеніе зависитъ только отъ формы тѣла и распредѣленія въ немъ матеріи.



Фиг. 41.

Центръ тяжести нѣкоторыхъ тѣлъ. Въ механикѣ даются общія правила для нахожденія центра тяжести. Мы укажемъ только нѣкоторые результаты относительно однородныхъ тѣлъ, то есть такихъ, которыхъ плотность во всѣхъ частяхъ одинакова. Такъ, центръ тяжести треугольной пластинки EFH (фиг. 42) лежитъ въ точкѣ G на прямой линіи FK, соединяющей вершину F съ срединою K противоположной стороны EH, на одной трети этой линіи FK, считая отъ основанія треугольника. Центръ тяжести параллелограмма $ABCD$ находится въ точкѣ O, на пересѣченіи діагоналей BD и AC. Центръ тяжести цилиндра лежитъ на серединѣ его оси. Центръ тяжести прямого конуса MLN лежитъ въ Q, на одной четверти высоты LP, считая отъ основанія. Центръ тяжести шара находится въ его геометрическомъ центрѣ.

Всѣ эти выводы получаются помощію разсмотрѣнія геометрическихъ свойствъ фигуръ. Для примѣра возьмемъ треугольникъ. Соединимъ одну изъ вершинъ B (фиг. 43) съ серединою D противоположной стороны; тогда всякая линія FH, параллельная основанію, также раздѣлится пополамъ линіею BD. Всѣ матеріальныя частицы, расположенныя по линіи FH, будутъ имѣть общій центръ тяжести на серединѣ ея въ K. То же самое можно сказать о всякой другой линіи, параллельной FH. Такимъ образомъ, центры тяжести всѣхъ вещественныхъ линій, параллельныхъ AC, и на которыя можно разложить треугольникъ, будутъ находиться па линіи BD. Слѣдовательно, на той же линіи лежитъ центръ тяжести всего треугольника. Такъ же легко доказать, что линія EC, соединяющая другую вершину треугольника C съ E, серединою противоположной стороны, проходитъ чрезъ центръ тяжести. Отсюда выходитъ, что эта точка, т. е. центръ тяжести треугольника ABC лежитъ въ G, на пересѣченіи линій BD и CE. Докажемъ теперь, что DG составляетъ $^1/_3$ линіи DB. Проведя линію ED, получимъ два треугольника: EGD и BGC. Линія ED соединяетъ середины линій AC и AB и потому параллельна линіи BC; слѣдовательно, углы DEG и GCB, EDG и GBC между собою равны, откуда заключаемъ, что треугольники EGD и BGC подобны. Изъ подобія ихъ выходитъ:



Фиг. 43.

$$DG : GB = ED : BC = AE : AB = 1 : 2;$$

отсюда

$$DG = {}^1/_2\, GB,$$

и, слѣдовательно,

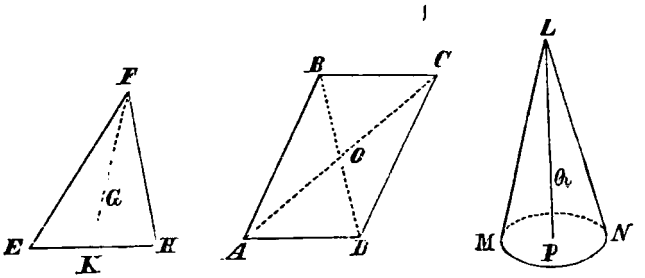
$$DG = {}^1/_3\, BD.$$

Центръ тяжести лежитъ къ той части тѣла ближе, которая содержитъ болѣе матеріи. Вообразимъ два шара A и B (фиг. 44), которыхъ центры тяжести находятся въ ихъ геометрическихъ центрахъ A и B, и пусть они соединены невѣсомымъ прутомъ, или по крайней мѣрѣ имѣющимъ столь малый вѣсъ, что имъ можно пренебречь относительно вѣса самихъ шаровъ. Допустимъ еще, что шаръ A вѣситъ 5 фунтовъ, а B—1 фунтъ. Найти центръ тяжести системы двухъ такихъ шаровъ—то же самое, что розыскать точку приложенія равнодѣйствующей силъ 5 ф. и 1 ф.; для этого стоитъ только линію AB раздѣлить на 6 частей и отойти отъ A на одну такую часть [43] въ C, гдѣ и будетъ общій центръ тяжести. Слѣдовательно, центръ тяжести лежитъ къ тому шару ближе, который тяжеле. Отсюда становится яснымъ, почему въ треугольникѣ, пирамидѣ, конусѣ центръ тяжести лежитъ ближе къ основанію, нежели къ вершинѣ, и вообще во всякомъ тѣлѣ—ближе къ утолщенной части.

Фиг. 44.

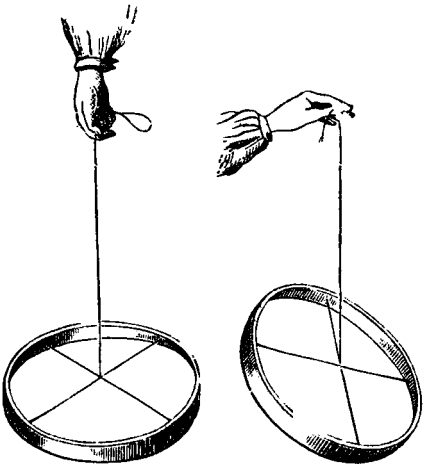
Центръ тяжести тѣла перемѣщается, какъ скоро тѣло измѣняетъ свою форму; такъ, если человѣкъ подымаетъ правую руку изъ отвѣснаго положенія въ горизонтальное, то центръ тяжести его тѣла перемѣщается направо. Если птица вытянетъ шею по горизонтальному направленію, то въ ту же сторону подвинется и центръ тяжести.

50. Равновѣсіе вѣсомаго тѣла, подпертаго въ одной точкѣ. Каждое тѣло, ничѣмъ не поддерживаемое, стремится, по причинѣ собственнаго вѣса, упасть на землю. Существуютъ разные способы, чтобы удержать твердое тѣло отъ паденія; можно напр. укрѣпить одну изъ его точекъ. *Для равновѣсія твердаго тѣла, подпертаго въ одной точкѣ, необходимо, чтобы центръ тяжести и точка опоры этого тѣла лежали на одной отвѣсной линіи.* Здѣсь надо различить три случая:



Фиг. 42.

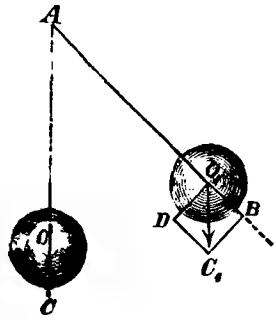
1) Если точка опоры совпадаетъ съ центромъ тяжести, то тѣло во всякомъ положеніи остается въ равновѣсіи, потому что тогда сила вѣса уничтожается сопротивленіемъ этой точки. Фигура 45 изображаетъ одно и то же тѣло, привѣшенное за центръ тяжести въ двухъ различныхъ положеніяхъ.



Фиг. 45.

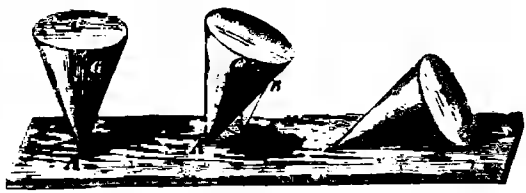
2) Пусть тѣло O (фиг. 46) привѣшено на нить, и пусть точка привѣса A находится на одной отвѣсной линіи съ центромъ тяжести O, но лежитъ выше его. По направленію той же отвѣсной линіи, отъ O къ C, будетъ дѣйствовать тогда вѣсъ

тѣла, приложенный къ точкѣ O. Точку приложенія вѣса можно перенести изъ O въ A [42], гдѣ эта сила уничтожится сопротивленіемъ точки привѣса, и, слѣдовательно, привѣшенное тѣло останется въ покоѣ, какъ будто бы никакая сила на него не дѣйствовала. Отклонимъ это тѣло въ положеніе O_1 и изобразимъ вѣсъ его отвѣсною линіею O_1C_1. Направленіе силы вѣса не проходитъ теперь чрезъ точку привѣса A, и, значитъ, вѣсъ не уничтожается сопротивленіемъ этой точки. Слѣдовательно, привѣшенное тѣло не можетъ остаться въ положеніи O_1; оно должно двигаться. Чтобы опредѣлить, какое произойдетъ тогда движеніе, разложимъ силу вѣса на двѣ: одну по направленію нити AO_1, другую—по O_1D, перпендикулярному къ AO_1, и построимъ для этого параллелограммъ O_1DC_1B; сила, направляющаяся по линіи O_1B, уничтожится сопротивленіемъ точки опоры A, а сила, изображаемая линіею O_1D, заставитъ тѣло возвратиться въ прежнее положеніе равновѣсія O.



Фиг. 46.

3) Наконецъ, фугура 47 изображаетъ третій случай, то есть когда точка опоры лежитъ ниже центра тяжести; здѣсь конусъ подпертъ на столѣ въ точкѣ A, между тѣмъ какъ центръ тяжести G лежитъ выше. Хотя и въ этомъ случаѣ должно быть равновѣсіе, но оно наблюдается весьма непродолжительное время, потому что всякая внѣшняя причина, какъ напр. колебаніе воздуха, можетъ его нарушить; чуть только центръ тяжести сойдетъ съ отвѣсной линіи, проходящей чрезъ точку опоры, то тѣло уже не возвратится въ положеніе равновѣсія, но удалится отъ него еще болѣе. Въ этомъ легко убѣдиться разложеніемъ силы вѣса на двѣ, взаимно перпендикулярныя, составляющія силы, по направленіямъ, $G'A'$ и $G'B$; первая уничтожится сопротивленіемъ точки опоры, а вторая удалитъ еще болѣе тѣло отъ прежняго положенія равновѣсія.



Фиг. 47.

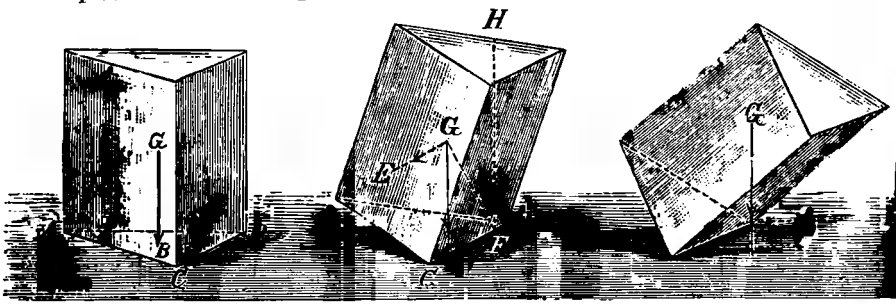
51. Разные роды равновѣсія. Равновѣсіе тѣла бываетъ трехъ родовъ: *безразличное*, *устойчивое* и *неустойчивое*. Безразличное равновѣсіе есть такое, когда тѣло, остается въ томъ положеніи, въ которомъ было установлено. Устойчивымъ называется равновѣсіе, въ которое тѣло возвращается само собою, если было изъ него выведено. Тѣло нахо-

дится въ равновѣсіи неустойчивомъ, если, будучи немного отклонено, уже не приходитъ въ прежнее положеніе, но стремится отклониться еще болѣе. Примѣромъ можетъ служить равновѣсіе тѣла, подпертаго въ одной точкѣ [50]; первый случай представляетъ безразличное, второй — устойчивое, третій — неустойчивое равновѣсіе.

52. Равновѣсіе вѣсомаго тѣла, подпертаго въ двухъ точкахъ. Условія равновѣсія тѣла, имѣющаго двѣ точки опоры, расположенныя на одной горизонтальной линіи, подобны условіямъ равновѣсія въ случаѣ одной точки опоры. Для равновѣсія необходимо, чтобы отвѣсная линія, проведенная изъ центра тяжести, проходила бы чрезъ прямую линію, соединяющую точки опоры. Если центръ тяжести лежитъ на самой этой линіи, то равновѣсіе будетъ безразличное; если онъ находится ниже ея, то равновѣсіе будетъ устойчивое, и когда, наконецъ, лежитъ выше ея, — неустойчивое. Тѣ же условія очевидно относятся къ тѣлу, опирающемуся во многихъ точкахъ, расположенныхъ на одной и той же горизонтальной линіи. Примѣромъ безразличнаго равновѣсія можетъ служить колесо, вращающееся на горизонтальной оси, примѣромъ равновѣсія устойчиваго — человѣкъ на качеляхъ, и примѣромъ равновѣсія неустойчиваго — призма, опирающаяся однимъ изъ своихъ реберъ на горизонтальную плоскость.

53. Равновѣсіе вѣсомаго тѣла на горизонтальной плоскости. *Если тѣло опирается на горизонтальную плоскость тремя точками, нележащими на одной прямой, то для равновѣсія необходимо, чтобы отвѣсная линія, опущенная изъ центра тяжести тѣла, проходила внутри треугольника, котораго вершины совпадаютъ съ тремя точками опоры*, потому что тогда вѣсъ тѣла можно разложить на три вертикальныя силы, проходящія чрезъ точки опоры, гдѣ эти силы уничтожатся сопротивленіемъ точекъ опоры. Если это условіе не соблюдено, т. е. если перпендикуляръ, опущенный изъ центра тяжести тѣла, проходитъ внѣ упомянутаго треугольника, то нельзя разложить вѣсъ тѣла на такія три силы, которыя направлялись бы къ точкамъ опоры; тогда тѣло не можетъ остаться въ томъ положеніи, въ которомъ его поставили, и опрокинется. — Если приведенное выше условіе соблюдено, то равновѣсіе будетъ устойчивое, т. е. тѣло можно нѣсколько отклонить, и оно снова само собою возвратится въ прежнее положеніе. Для большей ясности представимъ себѣ тѣло весьма простой формы, напримѣръ трехгранную призму $ADCG$ (фиг. 48), опирающуюся на горизонтальную плоскость въ трехъ точкахъ: A, D, C; пусть отвѣсная линія GB, проведенная изъ центра тяжести G призмы, проходитъ внутри треугольника ADC. Повернечъ призму около пря-

мой DC (фиг. 49), соединяющей точки опоры D и C; опустимъ изъ центра тяжести G перпендикуляръ GF на CD и разложимъ вѣсъ призмы на двѣ взаимно перпендикулярныя силы: одну—по линіи GF, другую—по GE, перпендикулярной къ GF и CD. Первая уничтожится сопротивленіемъ точки опоры, а вторая возвратитъ призму въ прежнее положеніе.—Впрочемъ, можно всякое тѣло, поставленное на горизонтальной плоскости, отклонить такъ далеко отъ его положенія равновѣсія, что оно не возвратится назадъ и опрокинется. Фиг. 50 представляетъ призму именно въ такомъ положеніи; въ этомъ легко убѣдиться, подобно предыдущему, разложеніемъ вѣса призмы на двѣ взаимно перпендикулярныя силы. Вообще, если центръ тяжести призмы не достигъ отвѣсной линіи FH (фиг. 49), то призма возвращается въ первоначальное положеніе; когда же центръ тяжести отклоненъ за этотъ предѣлъ, то тѣло опрокидывается.



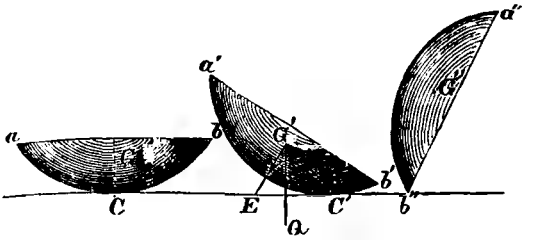
Фиг. 48. Фиг. 49. Фиг. 50.

По причинѣ несовершенствъ полировки, всякое несжимаемое твердое тѣло можетъ опираться на несжимаемую подставку только въ трехъ точкахъ; но какъ всѣ тѣла природы сжимаемы, то въ упомянутыхъ трехъ точкахъ опоры произойдетъ сжатіе тѣла и подставки, и тогда могутъ придти въ прикосновеніе и другія точки, такъ что тѣло будетъ опираться болѣе чѣмъ на трехъ точкахъ. Случай этотъ сложнѣе предыдущаго; мы его не будемъ разсматривать.

Легко разсудить, что, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, тѣло тѣмъ труднѣе опрокинуть, чѣмъ центръ тяжести его ниже, и чѣмъ болѣе основаніе тѣла, которымъ оно опирается на горизонтальную плоскость.

54. Равновѣсіе шара и сегмента. Однородный шаръ, лежащій на горизонтальной плоскости, находится въ равновѣсіи безразличномъ, потому что, при всякомъ его положеніи, отвѣсная линія, опущенная изъ центра тяжести, проходитъ чрезъ точку опоры. Шаровой отрѣзокъ или сегментъ ab (фиг. 51), лежащій на горизонтальной плоскости, представляетъ примѣръ равновѣсія устойчиваго. Если отвѣсная линія, опущенная изъ центра тяжести этого тѣла, проходитъ чрезъ точку опоры C,

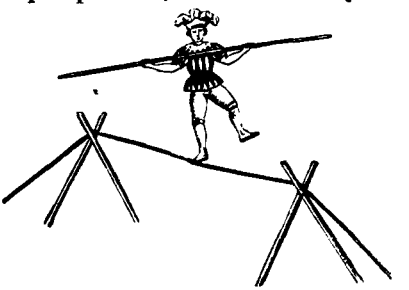
то сегментъ находится въ покоѣ. Отведемъ сегментъ въ положеніе $a'b'$; разложивъ тогда вѣсъ сегмента, дѣйствующій по линіи $G'Q$, на двѣ силы, по направленіямъ $G'C'$ и $G'E$, найдемъ, что сегментъ долженъ возвратиться въ прежнее положеніе. Сдѣлавъ подобное построеніе для того же тѣла въ положеніи $a''b''$, убѣдимся, что сегментъ опрокинется.



Фиг. 51.

55. Приложенія. Изъ условія равновѣсія тѣла, опирающагося на плоскость [53], истекаютъ многія слѣдствія, полезныя на практикѣ. Для равновѣсія человѣка, стоящаго на плоскости, необходимо, чтобы перпендикуляръ, опущенный изъ центра его тяжести, падалъ внутри пространства, занимаемаго ступнями ногъ. Если носильщикъ беретъ что либо въ лѣвую руку (фиг. 52), то центръ тяжести подается налѣво, и отвѣсная линія, опущенная изъ этой точки, можетъ выйти изъ пространства, занимаемаго ступнями ногъ; поэтому, носильщикъ, чтобы не упасть, долженъ наклониться направо. Отсюда же понятно почему, неся что либо на спинѣ, мы нагибаемся впередъ. Подобнымъ образомъ объясняется трудность хожденія по натянутому канату (фиг. 53). Нужна большая ловкость, чтобы удержать вертикальную линію, опущенную изъ центра тяжести, внутри пространства, занимаемаго ступнями ногъ на канатѣ. Поэтому, неопытный акробатъ, въ помощь себѣ, имѣетъ въ рукахъ горизонтальный шестъ, перемѣщая который въ ту или другую сторону, заставляетъ перпендикуляръ, опущенный изъ центра тяжести, проходить постоянно чрезъ канатъ, и тѣмъ предохраняетъ себя отъ паденія.

Фиг. 52.

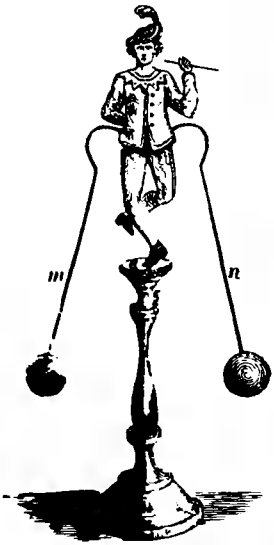

Фиг. 53.

Тѣло стоитъ тѣмъ прочнѣе, чѣмъ болѣе основаніе и чѣмъ ниже центръ тяжести. По этой причинѣ, нижнія части нѣкоторыхъ предметовъ дѣлаютъ тяжелыми и широкими, какъ это видимъ въ подсвѣчникахъ, лампахъ, статуэткахъ и пр.

На устойчивости равновѣсія тѣла, подпертаго въ одной точкѣ, выше центра тяжести, основано устройство куколъ (фиг. 54), опирающихся одною только точкою *a*; къ куклѣ на проволокахъ *m* и *n* прикрѣплены два свинцовые шара, такъ что общій центръ тяжести куклы и этихъ шаровъ находится въ точкѣ *g*, ниже точки опоры *a*. Такая кукла, выведенная изъ положенія равновѣсія, снова въ него возвращается, послѣ нѣсколькихъ колебаній.

Если къ шаровому сегменту *A* (фиг. 55), сдѣланному изъ свинца, прикрѣпить куклу *B* изъ вещества менѣе плотнаго, напр. пробки, такъ чтобы общій центръ тяжести свинца и пробки находился въ сегментѣ, то тѣло *AB* можно отклонить болѣе, чѣмъ на 90°, и оно снова будетъ становиться отвѣсно.

Фиг. 55.



Фиг. 54.

На сколько уменьшится вѣсъ тѣла если оно удалится отъ земной поверхности на высоту, равную земному радіусу? —Какой возъ легче опрокинуть—съ соломой или кирпичемъ, при равномъ вѣсѣ и одинаковомъ устройствѣ телѣгъ?—Въ центрѣ тяжести треугольника ABC (фиг. 36), на столѣ лежитъ гиря; опредѣлить давленія, испытываемыя ножками.—Почему трудно ходить на ходуляхъ? — Отчего въ рѣкахъ происходитъ теченіе воды?—Опредѣлить мѣсто центра тяжести въ неравносторонней треугольной призмѣ. — Три носильщика несутъ на головахъ треугольную чугунную плиту, поддерживая головами вершины треугольника; какъ распредѣляется давленіе плиты на каждаго изъ носильщиковъ?—Опредѣлить мѣсто центра тяжести поверхности прямого конуса (полаго конуса, безъ дна).

О ПРОСТЫХЪ МАШИНАХЪ.

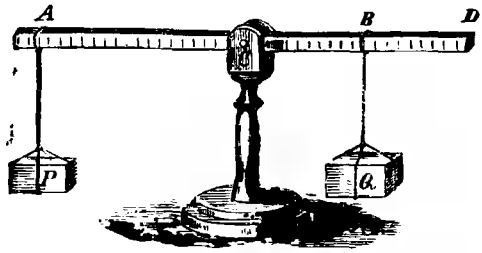
56. Обыкновенно сила не дѣйствуетъ на тѣло непосредственно, но помощію другихъ тѣлъ. Такъ напримѣръ, силу теченія воды не прилагаютъ прямо къ мельничному жернову, а заставляютъ ее вращать сначала колесо, помощію прикрѣпленныхъ къ нему лопатокъ, которыя уже сообщаютъ движеніе, посредствомъ зубчатыхъ колесъ, жернову. Стрѣлки на циферблатѣ часовъ приводятся въ движеніе упругостью закру-

ченной пружины, или паденіемъ гири, но не непосредственно, а помощію цѣлой системы зубчатыхъ колесъ.

Одно тѣло или совокупность многихъ тѣлъ, служащихъ для передачи дѣйствія силы, называется *машиною*.

Всякая машина, состоящая изъ твердыхъ тѣлъ, какъ-бы она сложна ни была, можетъ быть разложена на части, которыя называются *простыми машинами: рычагъ, блокъ, воротъ, зубчатое колесо, наклонная плоскость, клинъ* и *винтъ*, а эти въ свою очередь можно привести только къ двумъ: рычагу и наклонной плоскости.

Рычагъ. *Рычагомъ* называется стержень AD (фиг. 56), вращающійся около точки C; въ нѣкоторыхъ точкахъ его A и B привѣшены грузы P и Q. Точка C называется *точкою опоры*; разстоянія AC и BC, точекъ привѣса отъ точки опоры, — *плечами рычага*. Силы P и Q стремятся повернуть рычагъ около точки C въ противныя стороны; посмотримъ, какое должно быть соотношеніе между силами, чтобы рычагъ остался въ покоѣ. Предположимъ для простоты, что центръ тяжести стержня AD совпадаетъ съ точкою опоры C; тогда собственный вѣсъ рычага уничтожится сопротивленіемъ точки C, и, при розыскиваніи условій равновѣсія рычага, нѣтъ надобности принимать во вниманіе его вѣсъ. Грузы P и Q можно разсматривать какъ параллельныя силы, которыхъ равнодѣйствующая, какъ извѣстно, равна ихъ суммѣ [43]. Чтобы рычагъ остался въ покоѣ, необходимо, чтобы направленіе равнодѣйствующей этихъ силъ проходило чрезъ точку опоры C, потому что только тогда равнодѣйствующая уничтожится сопротивленіемъ этой точки; въ противномъ случаѣ, она повернетъ рычагъ въ ту или другую сторону. Но извѣстно изъ сложенія параллельныхъ силъ, что разстоянія точки приложенія силы равнодѣйствующей до точекъ приложенія силъ составляющихъ обратно пропорціональны силамъ составляющимъ [43] слѣдовательно:



Фиг. 56.

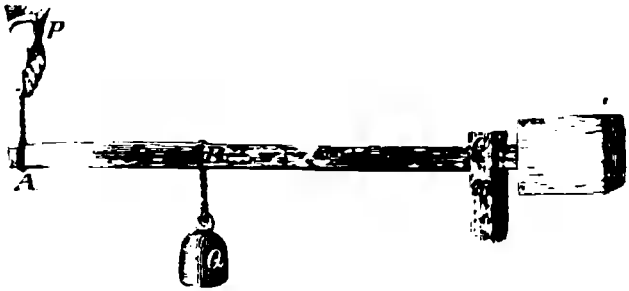
$$P:Q = CB:CA,$$

то есть: *для равновѣсія параллельныхъ силъ на прямолинейномъ рычагѣ, необходимо, чтобы силы стремились повернуть рычагъ въ противныя стороны и были обратно пропорціональны плечамъ*; если напр. плечо CB менѣе CA въ два раза, и на первое навѣсили 6 фунтовъ, а на второе—3 фунта, то рычагъ будетъ въ равновѣсіи.

На равноплечемъ рычагѣ силы для равновѣсія должны быть равны.

Предыдущее разсмотрѣніе остается то же самое, будетъ ли рычагъ имѣть горизонтальное или наклонное къ горизонту положеніе.

57. Есть еще рычагъ другого рода, въ которомъ точка опоры C (фиг. 57), лежитъ не между точками приложенія силъ, какъ въ предыдущемъ случаѣ, а внѣ. Плечами рычага будутъ линіи AC и BC; сила Q есть грузъ, P означаетъ усиліе, которое употребляетъ рука, чтобы



Фиг. 57.

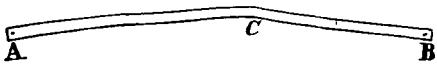
удержать грузъ отъ паденія. Предположимъ, что по другую сторону точки опоры C рычагъ утолщенъ, чтобы центръ тяжести его былъ въ C. Въ случаѣ равновѣсія, соотношеніе между силами и здѣсь останется то же самое, что и въ рычагѣ перваго рода, то есть сила P должна быть во столько разъ менѣе Q, во сколько BC менѣе плеча AC. Для доказательства замѣтимъ, что равнодѣйствующая параллельныхъ силъ P и Q должна проходить чрезъ точку опоры C, потому что только тогда рычагъ можетъ быть въ равновѣсіи. Отсюда во-первыхъ выходитъ, что сила Q должна быть болѣе P, ибо равнодѣйствующая двухъ неравныхъ параллельныхъ и противоположныхъ силъ равна ихъ разности и находиться за большей силой [45]; во-вторыхъ—разстоянія CA и CB, точки приложенія силы равнодѣйствующей до точекъ приложенія составляющихъ, или, что все равно, плечи рычага, должны удовлетворять пропорціи:

$$P:Q=CB:CA,$$

что и нужно было доказать.

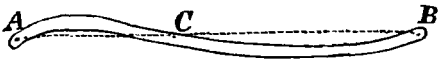
Найденное правило для равновѣсія рычаговъ обоихъ родовъ справедливо не только, когда на плечи привязаны грузы, но и въ случаѣ какихъ угодно параллельныхъ силъ.

58. Если точка опоры и точки привѣса, или точки приложенія силъ. лежатъ на одной прямой линіи. то рычагъ называется *прямолинейнымъ*. На фигурѣ 58 изображенъ рычагъ *лома-*



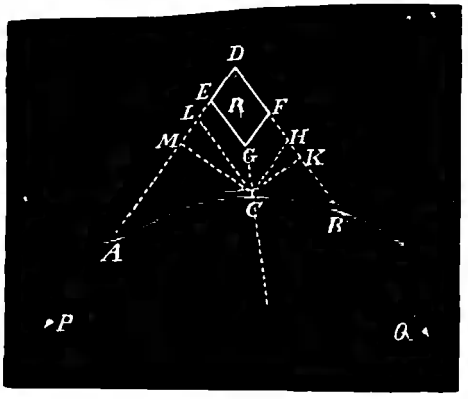
Фиг. 58.

ный ACB, а на фигурѣ 59 — *криволинейный* рычагъ ACB. Послѣдній впрочемъ можно замѣнить ломанымъ, соединивъ мысленно прямыми линіями CA и CB точку опоры C съ A и B точками приложенія силъ. Найденныя выше условія равновѣсія относятся только къ рычагамъ прямолинейнымъ и параллельнымъ силамъ.

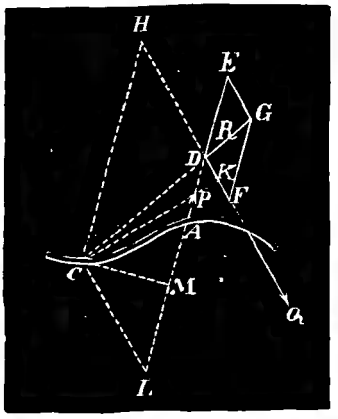


Фиг. 59.

59. Выведемъ условія равновѣсія рычаговъ ACB (фиг. 60) и CAB (фиг. 61), какого угодно вида: прямолинейнаго, ломанаго или криволинейнаго, пер-



Фиг. 60.



Фиг. 61.

ваго (фиг. 60) и второго рода (фиг. 61), подъ вліяніемъ непараллельныхъ силъ P и Q. Для простоты предположилъ, что центръ тяжести рычаговъ ACB и CAB совпадаетъ съ точкой опоры C; тогда собственный вѣсъ рычага можетъ быть пренебрегаемъ, потому что, уничтожаясь сопротивленіемъ точки опоры, онъ не можетъ войти въ искомыя условія равновѣсія. Первое очевидное условіе—это, чтобы силы стремились повернуть рычагъ въ противныя стороны. Во вторыхъ, направленіе равнодѣйствующей этихъ силъ должно проходить чрезъ точку опоры; только при такомъ условіи рычагъ останется въ покоѣ, потому что только тогда равнодѣйствующая уничтожится сопротивленіемъ точки опоры. Послѣднее условіе можно выразить иначе. При этомъ мы будемъ разсматривать разомъ рычаги обоихъ родовъ, употребляя одни и тѣ же сужденія, для чего одинаковыя буквы на фигурахъ 60 и 61 означаютъ соотвѣтственныя части.

Продолжимъ направленія силъ P и Q до пересѣченія въ точкѣ D, въ которую перенесемъ точки ихъ приложенія. Отложивъ потомъ линіи DE и DF, пропорціональныя силамъ, такъ чтобы

$$\frac{P}{Q} = \frac{DE}{DF} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

и, построивъ параллелограммъ $EDFG$, найдемъ равнодѣйствующую R силъ P и Q, измѣряемую діагональю DG. Для равновѣсія рычага, направленіе силы R, какъ уже замѣчено выше, должно проходить чрезъ точку опоры C. Сдѣланное построеніе предполагаетъ, что силы P и Q лежатъ въ одной плоскости съ точкой опоры; иначе равновѣсіе было бы невозможно. Проведя изъ

точки опоры линіи CH и CL, соотвѣтственно параллельныя DE и DF, будемъ имѣть изъ подобія четыреугольниковъ $EGFD$ и $LCHD$:

$$\frac{GF}{GE} = \frac{CH}{CL},$$

или, замѣнивъ GE и GF равными имъ DE и DF:

$$\frac{DE}{DF} = \frac{CH}{CL} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Проведя еще перпендикуляры CK и CM изъ точки опоры C на направленія силъ Q и P, получимъ треугольники CKH и CLM подобные, потому что въ нихъ углы при K и M прямые, а углы CHK и CLM равны по параллельности сторонъ. Поэтому, назвавъ чрезъ p и q соотвѣтственно линіи CM и CK, будемъ имѣть:

$$\frac{CH}{CL} = \frac{q}{p} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Изъ сравненія пропорцій (1), (2) и (3) находимъ

$$\frac{P}{Q} = \frac{q}{p},$$

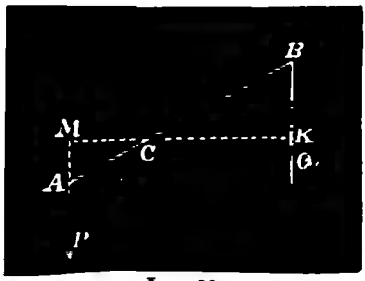
или

$$Pp = Qq \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (4)$$

Величина Pp, такъ же какъ Qq, то есть произведеніе изъ силы на перпендикуляръ, опущенный на ея направленіе изъ точки опоры, называется *моментомъ силы*. Итакъ, второе условіе *для равновѣсія силъ на рычагѣ* заключается въ томъ, что *моменты силы должны быть равны*; когда оно не соблюдено, то рычагъ начинаетъ вращаться въ сторону той силы, которой моментъ болѣе.

Въ частномъ случаѣ, когда рычагъ перваго ACB (фиг. 62), или второго рода CAB (фиг. 63), прямолинейный, а силы P и Q, на него дѣйствующія, параллельны между собою, предложенное доказательство не годится, потому что оно требуетъ, чтобы направленія силъ, по достаточномъ продолженіи, пересѣклись. Легко однакожъ доказать, что правило моментовъ остается и здѣсь справедливымъ. Было доказано [56 и 57], что

$$\frac{P}{Q} = \frac{CB}{CA}.$$



Фиг. 62.

Проведемъ изъ точки опоры C перпендикуляръ CK на направленіе одной изъ силъ, напр. Q; онъ будетъ перпендикуляренъ также къ направленію другой силы P.

Изъ подобія треугольниковъ CMA и CKB имѣемъ:

$$\frac{CK}{CM} = \frac{CB}{CA}.$$

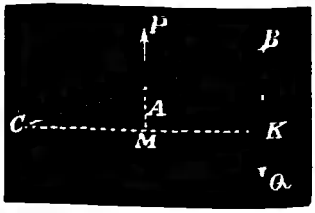
Чрезъ сравненіе двухъ послѣднихъ пропорцій получаемъ:

$$\frac{P}{Q} = \frac{CK}{CM},$$

откуда

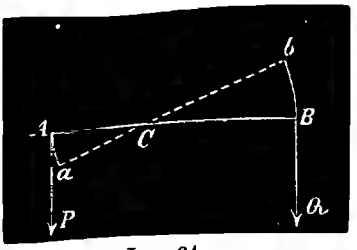
$$P \,.\, CM = Q \,.\, CK,$$

т. е., когда силы параллельны, моменты ихъ, для равновѣсія силъ, должны быть равны.

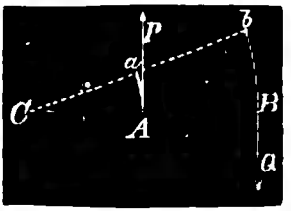


Фиг. 63.

60. Въ случаѣ параллельныхъ силъ, дѣйствующихъ на прямолинейный рычагъ *произведеніе изъ силы на пространство, пройденное точкою ея приложенія, есть величина для обѣихъ силъ постоянная.* Чтобы доказать это, вообразимъ два рычага, одинъ ACB (фиг. 64) перваго рода, у котораго точка опоры въ C, и другой CAB (фиг. 65) второго рода, съ точкой опоры въ C, и пусть дѣйствующія



Фиг. 64.



Фиг. 65.

на нихъ параллельныя силы уравновѣшиваются. Повернемъ рычагъ ACB перваго рода до положенія aCb, или второго рода CAB—до Cab; тогда точки приложенія силъ опишутъ дуги Aa и Bb, которыхъ радіусами будутъ плечи рычага, а центромъ—точка опоры. Такъ какъ углы ACa и BCb равны, то дуги Aa и Bb относятся какъ радіусы, которыми онѣ описаны, а потому

$$\frac{Bb}{Aa} = \frac{CB}{CA}$$

Съ другой стороны, имѣемъ $\frac{P}{Q} = \frac{CB}{CA}$; слѣдовательно,

$$\frac{P}{Q} = \frac{Bb}{Aa},$$

откуда

$$P \,.\, Aa = Q \,.\, Bb,$$

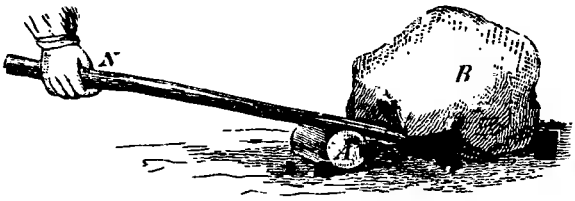
что и требовалось доказать.

Изъ этого выходитъ, что хотя малою силою можно преодолѣть большое сопротивленіе, но зато пространство, пройденное точкою приложенія силы, будетъ болѣе пространства, которое пробѣжитъ точка приложенія сопротивленія, и при томъ во столько разъ, во сколько сила должна быть при равновѣсіи менѣе сопротивленія. Этотъ законъ обыкновенно выражается такъ: *сколько мы выигрываемъ въ силѣ, столько теряемъ въ скорости.* Обратно, когда большою силою преодолѣвается малая, то хотя мы теряемъ въ силѣ, зато выигрываемъ въ скорости, потому что пространство, пройденное точкою приложенія первой, менѣе пространства, которое въ то же время опишетъ точка приложенія второй.

61. Приложенія. При помощи рычага, самою малою силою можно

уравновѣсить произвольную большую; для этого стоитъ только первую приложить къ длинному, а вторую—къ короткому плечу рычага.

Этимъ обстоятельствомъ пользуются, когда хотятъ повернуть какой нибудь большой грузъ. Короткое плечо рычага, котораго точка опоры лежитъ на стержнѣ *A* (фиг. 66), подкладываютъ подъ грузъ *B*. а на

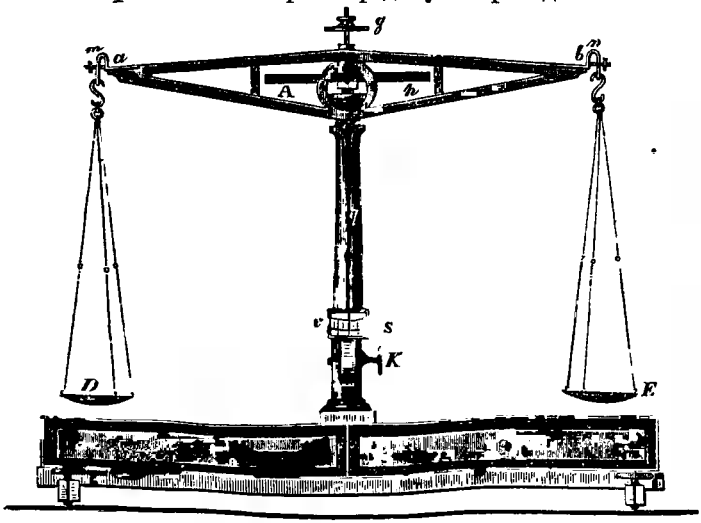


Фиг. 66.

конецъ длиннаго, въ точкѣ *N*, налегаютъ рукою; тогда давленіе на грузъ *B* будетъ во столько разъ болѣе усилія руки, во сколько короткое плечо рычага менѣе длиннаго.

Наши руки и ноги суть рычаги второго рода; на короткое плечо дѣйствуетъ мускулъ, а длиннымъ преодолѣвается внѣшнее сопротивленіе. Рычагъ имѣетъ множество и другихъ приложеній, какъ напр. въ ножницахъ, щипцахъ, гребныхъ веслахъ и проч.

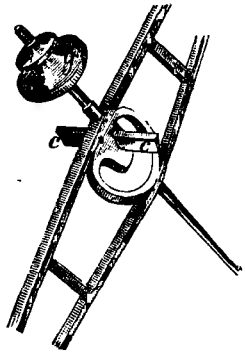
62. Вѣсы. Самое замѣчательное приложеніе рычага—въ *вѣсахъ*. Мы опишемъ такъ называемые *чувствительные* вѣсы, отличающіеся отъ обыкновенныхъ торговыхъ вѣсовъ—только большимъ совершенствомъ. Такіе вѣсы состоятъ изъ равноплечаго рычага *ab* (фиг. 67). называемаго *корымысломъ*. Чрезъ середину его проходитъ стальная трех-



Фиг. 67.

гранная призма, обращенная острымъ ребромъ *c* внизъ и лежащая на двухъ пластинкахъ изъ какого нибудь весьма твердаго вещества, напр. изъ стекла, агата или халцедона. Для ясности, призма *cc* представлена отдѣльно на фигурѣ 68. На концахъ коромысла привѣшены двѣ чашки *D* и *E* равнаго вѣса (фиг. 67). На одну изъ нихъ кладутъ взвѣшиваемый предметъ, а на другую—гири, до тѣхъ поръ, пока вѣсы не придутъ въ равновѣсіе; тогда вѣсъ гирь выразитъ вѣсъ тѣла, потому что при равновѣсіи равноплечаго рычага силы должны быть равны. Чтобы не притуплялось остріе призмы *c*, когда на вѣсахъ ничего не взвѣшивается, коромысло приподымаютъ дугообразной пластинкой *h*, приводимой въ движеніе винтомъ *K*.

Для *вѣрности* вѣсовъ необходимо: 1) чтобы точка опоры и точки привѣса лежали на одной прямой линіи, потому что извѣстное условіе равновѣсія параллельныхъ силъ на рычагѣ [56] справедливо только для рычага прямолинейнаго; 2) чтобы плечи коромысла съ чашками уравновѣшивались, и 3) чтобы разстоянія точекъ привѣса чашекъ до ребра *c* призмы были равны. Для укорачиванія и удлиненія плечей, въ случаѣ ихъ неравенства, чашки привѣшиваются не къ самому рычагу *ab*, а къ дугообразнымъ пластинкамъ *m* и *n*, которыя прикрѣплены къ коромыслу и могутъ быть разгибаемы или сгибаемы помощію винтовъ.



Фиг. 68.

Впрочемъ, Борда далъ способъ взвѣшивать вѣрно даже на невѣрныхъ вѣсахъ; этотъ способъ называется *двойнымъ взвѣшиваніемъ*. На одну изъ чашекъ *D* кладутъ тѣло, а на другую *E* насыпаютъ мелкаго песку столько, чтобы вѣсы были въ равновѣсіи; потомъ снимаютъ тѣло и на мѣсто его кладутъ гири до тѣхъ поръ, пока опять не произойдетъ равновѣсіе; тогда вѣсъ гирь будетъ очевидно равенъ вѣсу тѣла, независимо отъ вѣрности вѣсовъ.

Коромысло вѣсовъ представляетъ тѣло, подпертое въ двухъ или болѣе точкахъ, расположенныхъ на одной горизонтальной линіи. Оно можетъ быть въ равновѣсіи безразличномъ, неустойчивомъ и устойчивомъ [52]. Въ первомъ случаѣ, то есть когда центръ тяжести совпадаетъ съ ребромъ призмы, коромысло будетъ оставаться во всякомъ положеніи въ равновѣсіи. Когда ребро призмы лежитъ ниже центра тяжести, то коромысло будетъ въ равновѣсіи неустойчивомъ. Въ обоихъ случаяхъ вѣсы не удобны для употребленія. Коромысло должно быть такъ устроено, чтобы ребро призмы лежало выше центра тяжести, и чтобы это ребро и

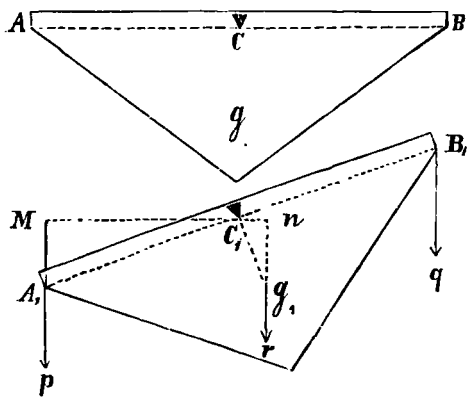
центръ тяжести находились на одной отвѣсной плоскости при горизонтальномъ положеніи коромысла. Такъ какъ вѣсъ коромысла уничтожается сопротивленіемъ подставки, то равновѣсіе будетъ зависѣть только отъ грузовъ, положенныхъ на чашки; если вѣса обоихъ грузовъ равны, то коромысло принимаетъ горизонтальное положеніе, а прикрѣпленная къ нему стрѣлка становится на середину дуги sv.

Самое важное достоинство вѣсовъ есть ихъ *чувствительность*, то есть способность выходить изъ положенія равновѣсія, когда прибавятъ на чашку самый малый грузъ; чѣмъ этотъ грузъ менѣе, тѣмъ вѣсы чувствительнѣе. Это условіе выполняется, когда: треніе въ точкахъ опоры и привѣса мало, коромысло по возможности легче и короче, а центръ тяжести лежитъ близко къ точкѣ опоры [63].

Для уменьшенія тренія, призму дѣлаютъ по возможности острѣе, а поставку берутъ изъ весьма твердаго вещества, чтобы уменьшить число точекъ соприкосновенія. Чтобы коромысло было легче, въ немъ дѣлаютъ вырѣзки. Сближеніе центра тяжести коромысла съ точкой опоры производится передвиженіемъ гайки g по винту; при повышеніи ея, подымается и центръ тяжести.

63. О чувствительности вѣсовъ. Основываясь на законахъ рычага, можно показать, каково должно быть устройство вѣсовъ, чтобы они обладали наибольшею чувствительностію.

Разсмотримъ только частный случай, когда корымысло (фиг. 69) ACB есть равноплечій рычагъ, въ которомъ точка опоры C и точки привѣса A и B лежатъ на одной прямой линіи ACB. Для равновѣсія одного только коромысла, точка его опоры и центръ тяжести g должны лежать на одной отвѣсной линіи. Предположимъ, что въ эту пору прямая ACB горизонтальна. Пусть теперь привѣсили къ коромыслу въ точкѣ A грузъ p, а въ B — грузъ q, изъ которыхъ p болѣе q величиною t. Тогда равновѣсіе нарушится; коромысло отклонится въ сторону силы p и приметъ такое положеніе $A_1C_1B_1$, при которомъ сила p уравновѣшивается съ q и вѣсомъ r коромысла, приложеннымъ къ центру тяжести g_1. Но сила q уравновѣшивается съ равною себѣ частью силы p, а потому остаются только силы t и r, дѣйствующія на ломаный рычагъ $A_1C_1g_1$. Для равновѣсія необходимо равенство моментовъ, то есть, чтобы



Фиг. 69.

$$t \,.\, C_1M = r \,.\, C_1n \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (C)$$

гдѣ C_1M и C_1n изображаютъ перпендикуляры, опущенные изъ C_1 на направленія силъ t и r.

Изъ двухъ вѣсовъ болѣе чувствительными должно считать тѣ, которые, при одной и той же разности между грузами p и q или, что все равно, при одной и той же величинѣ t, болѣе отклоняются отъ горизонтальнаго положенія, другими словами,—чѣмъ болѣе уголъ MC_1A_1. Станемъ искать, отъ какихъ обстоятельствъ зависитъ величина этого угла. Изъ треугольника MCA_1, назвавъ уголъ MC_1A_1 чрезъ α, получимъ:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{MA_1}{C_1M}.$$

Подставивъ сюда вмѣсто C_1M его величину изъ равенства (C), будемъ имѣть:

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{t}{r} \cdot \frac{MA_1}{C_1n}.$$

Обозначивъ C_1A_1 чрезъ l, C_1g—чрезъ m, найдемъ изъ подобныхъ треугольниковъ A_1MC_1 и C_1ng;

$$\frac{MA_1}{C_1n} = \frac{l}{m}.$$

Изъ сравненія двухъ послѣднихъ равенствъ выходитъ;

$$\operatorname{tang} \alpha = \frac{t}{r} \cdot \frac{l}{m}.$$

Послѣднее выраженіе содержитъ рѣшеніе предложеннаго вопроса. Изъ него видно, что α возрастаетъ съ уменьшеніемъ r и m. Итакъ, чтобы вѣсы были чувствительнѣе:

1) Коромысло должно быть по возможности легче. Съ этою цѣлію въ немъ дѣлаются вырѣзки, такой формы и величны, чтобы рычагъ наименѣе сгибался подъ вліяніемъ собственнаго вѣса и грузовъ, лежащихъ на чашкахъ.

2) Разстояніе m отъ точки опоры до центра тяжести коромысла должно быть какъ можно меньше. Для этого на верху коромысла насаживаютъ на винтъ гайку g (фиг. 67); чрезъ перемѣщеніе ея можно приближать центръ тяжести къ точкѣ опоры.

При выводѣ этихъ условій мы не обращали вниманіе на гнутіе коромысла и треніе въ точкѣ опоры; то и другое зависятъ отъ величины грузовъ, обременяющихъ плечи, отъ длины коромысла и проч. Такимъ образомъ, надо присоединить еще три условія:

3) Чувствительность вѣсовъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе взвѣшиваемые грузы, потому что, при увеличиваніи нагрузки чашекъ, коромысло сгибается болѣе, и центръ тяжести его понижается; вмѣстѣ съ тѣмъ возрастаетъ и треніе въ точкахъ опоры.

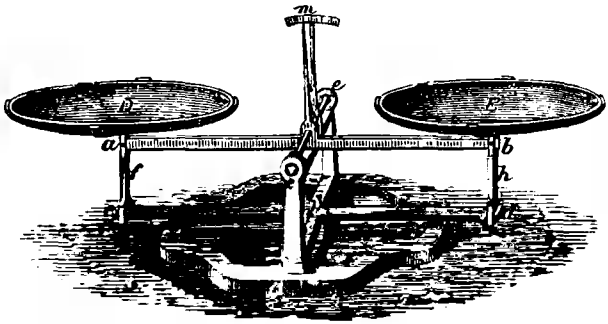
4) Изъ послѣдней формулы, *повидимому*, выходитъ, что, при удлиненіи коромысла, чувствительность вѣсовъ увеличивается; но это не вѣрно. Чѣмъ длиннѣе коромысло, тѣмъ оно болѣе гнется. Чтобы гнутіе, при удлиненіи плечей, не увеличивалось, необходимо самое коромысло дѣлать толще. Отъ этого возрастаютъ вѣсъ его и треніе такъ несоразмѣрно, что чувствительность вѣсовъ уменьшается. Поэтому, коромысло слѣдуетъ дѣлать какъ можно короче, не менѣе однакожъ нѣкоторой величины: плечи коромысла должны быть болѣе діаметра чашекъ, потому что иначе чашки нельзя было бы подвѣсить.

5) Для уменьшенія тренія, призма, на которой опирается коромысло, и подставка должны быть сдѣланы изъ веществъ весьма твердыхъ и разнород-

ныхъ [436], напр. первая изъ стали, вторая изъ агата. Ребро призмы должно быть по возможности острѣе, а чтобы оно напрасно не тупилось, когда вѣсы не употребляются, коромысло подымается особыми подставками.

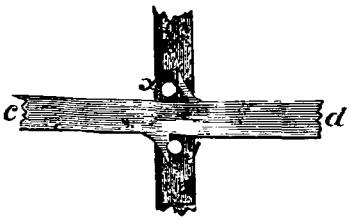
64. Вѣсы съ нижней точкой опоры. Обыкновенные вѣсы занимаютъ много мѣста и неудобны для переноски. Вѣсы, въ которыхъ чашки укрѣплены непосредственно на рычагѣ ab (фиг. 70), вращающемся около точки e, не имѣютъ этого недостатка. Но тогда равновѣсіе зависитъ отъ мѣста грузовъ, потому что чашки представляютъ часть коромысла ab. Если взяты равныя гири, и одна помѣщена въ q, на край чашки, наиболѣе удаленный отъ точки опоры, а другая въ p, на ближайшемъ разстояніи, то первая перетянетъ вторую, ибо дѣйствуетъ на длиннѣйшее плечо рычага. Для равновѣсія надлежало бы поставить грузы въ одинаковыхъ разстояніяхъ отъ точки опоры, напр. по срединѣ чашекъ, что на практикѣ не выполнимо. Этотъ недостатокъ можно устранить, соединяя каждую изъ чашекъ съ коромысломъ только въ одной точкѣ, чтобы давленіе груза на чашку передавалось всегда на одну и ту же точку коромысла. Такъ именно и сдѣлано въ вѣсахъ *Роберваля* или *съ нижней точкой опоры*, изображенныхъ на фигурѣ 71. Чашки неподвижно прикрѣплены къ стержнямъ f и h, соединеннымъ съ рычагомъ ab шарнирами въ точкахъ a и b.

Фиг. 70.



Фиг. 71.

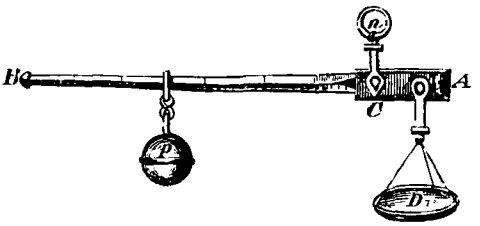
Чтобы чашки не опрокидывались, прутья f и h связываютъ внизу стержнемъ cd, особеннымъ образомъ укрѣпленнымъ въ точкѣ o, какъ это изображено на фигурѣ 72 въ увеличенномъ размѣрѣ. Штифты x и y не дозволяютъ стержню cd двигаться горизонтально. Коромысло вращается на призмѣ ee; горизонтальность его указывается стрѣлкой, движущейся по дугѣ m. Равновѣсіе не зависитъ отъ мѣста грузовъ, потому что при всякомъ ихъ положеніи давленіе передается на концы плечей коромысла ab. Такъ по крайней мѣрѣ должно быть, если нѣтъ тренія. Но треніе дѣлаетъ всѣ части вѣсовъ въ точкахъ скрѣпленія менѣе подвижными и приближаетъ ихъ къ вѣсамъ, изображеннымъ на фигурѣ 70, а потому равновѣсіе зависитъ здѣсь отъ положенія грузовъ. Впрочемъ, вліяніе этой причины, обыкновенно, очень мало.



Фиг. 72.

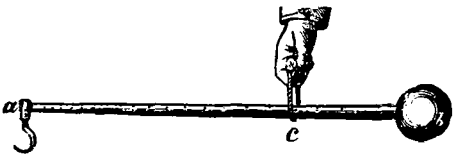
Вѣсы Роберваля весьма удобны для практическаго употребленія, но не годятся для ученыхъ изслѣдованій, потому что недостаточно чувствительны.

65. Римскіе вѣсы. *Римскіе вѣсы* представляютъ неравноплечій рычагъ ACB (фиг. 73) съ неподвижной точкой опоры C; короткое плечо утолщено на столько, что центръ тяжести рычага и точка опоры лежатъ на одной отвѣсной линію. По длинному плечу можно перемѣщать гирю p постояннаго вѣса, а къ короткому привѣшиваютъ чашку D. Двигая гирю по плечу CB, найдемъ такое ея положеніе, гдѣ она уравновѣсится съ чашкой D; здѣсь ставятъ нуль. Потомъ на чашку кладутъ гирю опредѣленнаго вѣса, напр. въ 1 пудъ. Тогда для равновѣсія придется удалить гирю p отъ точки опоры; на томъ мѣстѣ рычага, гдѣ надо повѣсить гирю, пишутъ 1. Далѣе, на чашку кладутъ гирю въ два пуда, и еще отодвигаютъ гирю p, пока снова не произойдетъ равновѣсія; мѣсто ея на рычагѣ помѣчаютъ цифрой 2. Подобнымъ образомъ можно сдѣлать и другія дѣленія. Если теперь хотятъ что либо взвѣсить, то кладутъ тѣло на чашку, а гирю p двигаютъ до тѣхъ поръ, пока рычагъ ACB не уравновѣсится. Число, стоящее на томъ мѣстѣ рычага, гдѣ находится гиря, покажетъ вѣсъ тѣла.



Фиг. 73.

66. Безменъ. *Безменъ* представляетъ большое сходство съ римскими вѣсами. Онъ состоитъ изъ рычага перваго рода ab (фиг. 74), который на одномъ концѣ имѣетъ утолщеніе b, а на другомъ a—крючекъ съ чашкой, и опирается въ c на веревкѣ, служащей ему точкой опоры. Пусть при положеніи веревки, показанномъ на фигурѣ, рычагъ находится въ равновѣсіи. Если къ крючку a привѣсимъ гирю въ 1 фунтъ, то веревку нужно придвинуть къ крючку для уменьшенія плеча ca и увеличенія cb. Когда рычагъ въ равновѣсіи, то на томъ мѣстѣ рычага, гдѣ находится веревка, ставятъ точку. Потомъ къ крючку привѣшиваютъ 2 фунта, а мѣсто веревки обозначаютъ при равновѣсіи безмена двумя точками. Подобнымъ образомъ находятъ и другія дѣленія, соотвѣтствующія разнымъ грузамъ. Безменъ есть приборъ весьма нечувствительный и способный ввести неопытнаго человѣка въ обманъ; употребленіе его въ торговлѣ запрещено.

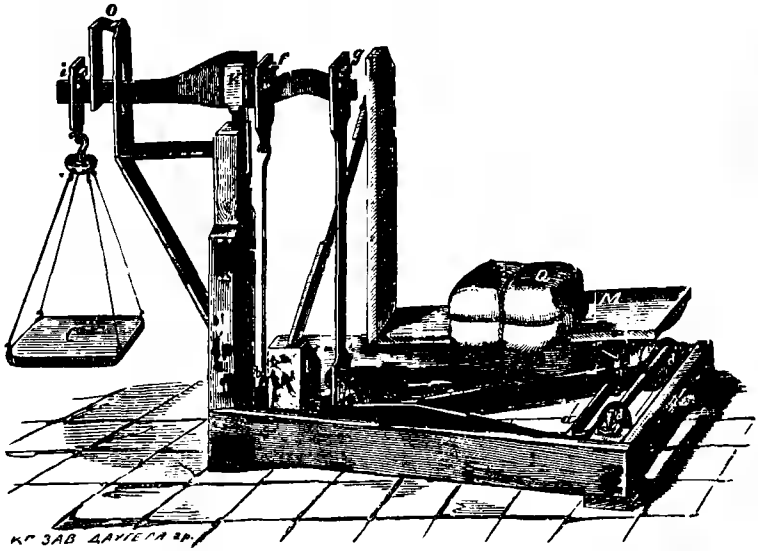


Фиг. 74.

67. Децимальные вѣсы. Въ настоящее время нерѣдко употребляютъ *децимальные* или *десятичные* вѣсы, посредствомъ которыхъ можно взвѣшивать гирями въ десять разъ меньшими обыкновенныхъ; это составляетъ важное удобство, когда нужно опредѣлить вѣсъ большихъ грузовъ, какъ напр. при пріемѣ кладей на желѣзныхъ дорогахъ. Кромѣ того, вѣсы эти занимаютъ весьма немного мѣста.

Фигуры 75 и 76 изображаютъ: первая—децимальные вѣсы, вторая—одну систему рычаговъ. Рычагъ перваго рода ig вращается около точки опоры K.

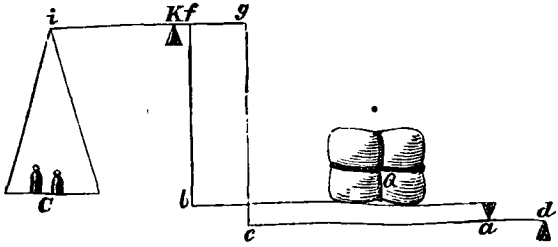
На короткомъ плечѣ Kg повѣшены два стержня fb и gc, соединенные шарнирами съ рычагами ab и cd второго рода, которыхъ точки опоры въ a и d. На рычагъ ab опирается платформа M, на которую кладутъ взвѣшиваемый грузъ Q. На фигурѣ 75, изображена только половина платформы. Къ длин-



Фиг. 75.

ному плечу iK рычага привѣшена чашка C, на которую кладутъ гири до тѣхъ поръ, пока не произойдетъ равновѣсія.

Чашка берется такого вѣса, чтобы одна, безъ гирь, уравновѣшивала всѣ части, опирающіяся на плечо Kg безъ груза Q. Равновѣсіе узнается тѣмъ, что два острія O становятся одно противъ другого. Длина плечей рычаговъ должна быть такова, чтобы, при колебаніи вѣсовъ, платформа M оставалась всегда горизонтальна, чтобы вѣсъ гирь, положенныхъ на чашку, равнялся $^1/_{10}\,Q$, и чтобы равновѣсіе не зависѣло отъ мѣста груза на платформѣ. Эти требованія удовлетворяются, когда



Фиг. 76.

$$Kf = {}^1/_{10}\,Ki \quad . \quad . \quad (1)$$

$$\frac{Kg}{Kf} = \frac{dc}{da}.$$

Для простоты разсужденій допустимъ, что знаменатель отношенія послѣдней пропорціи есть 4, т. е.

$$\frac{Kg}{Kf} = \frac{dc}{da} = 4 \ldots (2)$$

хотя впрочемъ онъ можетъ равняться какому угодному числу, но, конечно, большему единицы. Грузъ Q можно разсматривать, какъ силу; разложимъ ее на двѣ вертикальныя силы p и r, дѣйствующія на точки a и b сверху внизъ. Относительная величина

силъ p и r зависитъ отъ мѣста Q на платформѣ M, но во всякомъ случаѣ, гдѣ бы грузъ ни лежалъ,

$$Q = p + r \text{ [44]}.$$

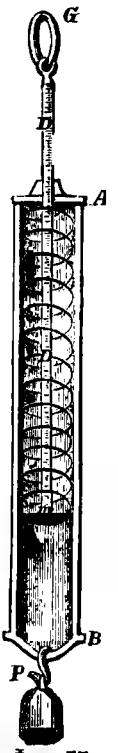
Дѣйствіе силы r передается безъ измѣненія, помощію стержня fb, точкѣ f. Силу p можно разложить на двѣ вертикальныя силы, дѣйствующія на точки d и c. Сила въ точкѣ d не оказываетъ вліянія на равновѣсіе вѣсовъ. Сила, дѣйствующая на точку c равна $^1/_4\,p$, потому что ca въ 3 раза болѣе ad; дѣйствіе этой силы, при посредствѣ прута gc, передается безъ измѣненія точкѣ g. Слѣдовательно, грузъ Q производитъ такое дѣйствіе, какъ будто бы въ точкѣ f висѣла гиря вѣса r, и въ точкѣ g—гиря вѣса $^1/_4\,p$. Дѣйствіе этой послѣдней на рычагъ ig будетъ одинаково съ дѣйствіемъ гири вѣса p, привѣшенной къ точкѣ f, потому что, по пропорціи (2), Kg болѣе Kf въ 4 раза.

Итакъ, грузъ Q оказываетъ такое дѣйствіе на рычагъ ig, какъ будто бы въ точкѣ f висѣли двѣ гири вѣсомъ въ p и r, или, что все равно, какъ будто бы самый грузъ Q былъ привѣшенъ въ той же точкѣ f. Отсюда ясно, что для уравновѣшиванія груза Q надо положить на чашку C гирю, равную $^1/_{10}$ вѣса Q, потому что по равенству (1), плечо Kf въ десять разъ менѣе плеча Ki. Когда эти отношенія между плечами и грузами удовлетворены, то острія O должны стоять одно противъ другого.

Предыдущія сужденія справедливы, гдѣ бы на платформѣ M ни лежалъ грузъ Q.

При пониженіи точки f, напр., на дюймъ, точка b опустится на столько же. Въ то же время g понизится на 4 дюйма и передвинетъ на такую же величину c, а точка a опустится только на $^1/_4$ четырехъ дюймовъ, т. е. на одинъ дюймъ. Такимъ образомъ, точки b и a при колебаніи коромысла ig понижаются или повышаются на одинаковыя величины, и, слѣдовательно, платформа M остается всегда самой себѣ параллельна.

68. **Вѣсы пружинные.** Въ общежитіи часто употребляютъ вѣсы, основанные на упругости стальныхъ пружинъ. Въ полый цилиндръ AB (фиг. 77) вставлена стальная пружина, опирающаяся съ одной стороны въ крышку цилиндра, а съ другой—въ металлическую пластинку m, которая прикрѣплена къ стержню D; если будемъ держать въ рукахъ кольцо G и повѣсимъ какую нибудь гирю на крючекъ P, придѣланный къ цилиндру AB, то стержень D выдвинется, пружина сожмется—и тѣмъ болѣе, чѣмъ гиря тяжелѣе. Привѣшивая разные грузы, мы можемъ обозначить на стержнѣ D соотвѣтствующія имъ дѣленія. Такіе вѣсы весьма удобны, но со временемъ упругость пружинъ ослабѣваетъ, и они начинаютъ показывать болѣе, чѣмъ слѣдуетъ.



Фиг. 77.

Какой рычагъ ножницы?—щипцы, которыми снимаютъ со свѣчи?—щипцы, которыми колютъ орѣхи?—щипцы, которыми стригутъ овецъ? — весла? — Почему, подымаясь на гору, мы нагибаемся впередъ?—Одно плечо рычага перваго рода равно 10 дюймамъ, а другое 24; на короткое повѣшенъ грузъ въ 20 фунтовъ; сколько надо повѣсить на другое плечо, чтобы рычагъ былъ въ равновѣсіи? —

*

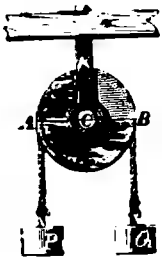
Сравнить между собою дѣленія на римскихъ вѣсахъ?—Тоже сдѣлать относительно безмена.—Почему серединою ножницъ легче что либо перерѣзать, нежели концами? — Почему длинный стержень труднѣе поднять за конецъ, нежели за середину?—На концахъ горизонтальнаго невѣсомаго стержня, привѣшены двѣ гири: въ 9 и 6 ф.; въ какой точкѣ надо подпереть этотъ стержень чтобы онъ оставался въ равновѣсіи?—На концахъ горизонтальнаго цилиндрическаго стержня, длиною въ 22 дюйма и вѣсомъ въ 20 фунтовъ, привѣшены гири въ 2 и 3 п.; въ какой точкѣ надо подпереть стержень, чтобы онъ оставался въ равновѣсіи?—Цилиндрическій рычагъ, длиною въ 12 футовъ и вѣсомъ въ 60 фунтовъ, положенъ на подпорку въ разстояніи 4-хъ футовъ отъ одного изъ своихъ концовъ; какого вѣса гирю надо повѣсить на этотъ конецъ, чтобы рычагъ былъ въ равновѣсіи? — Цилиндрическій рычагъ длиною въ $2^m,5$ и вѣсомъ въ 15 килограммовъ, положенъ на подпорку въ разстояніи 1^m отъ одного изъ концовъ; на длинномъ плечѣ повѣшена гиря въ 4 килограмма; сколько килограммовъ надо привѣсить на короткое плечо, чтобы рычагъ былъ въ равновѣсіи?—Цилиндрическій стержень, длиною въ 8^m и вѣсомъ въ 10 килограм. положенъ на подпорку; одинъ конецъ его обремененъ грузомъ въ 6, другой въ 9 килограммовъ; въ какомъ разстояніи отъ своихъ концовъ рычагъ долженъ быть подпертъ, чтобы получить равновѣсіе?

69. Блокъ. *Блокъ* есть цилиндръ небольшой высоты, вращающійся на оси, и по окружности котораго сдѣланъ желобъ. Фигуры 78 и 79 изображаютъ эту машину съ двухъ сторонъ. Ось C лежитъ въ отверстіяхъ, сдѣланныхъ въ вилообразной распоркѣ K, называемой *обоймицей*, и можетъ быть неподвижная и подвижная (фиг. 80); соотвѣтственно этому и самый блокъ получаетъ названіе *неподвижнаго* (фиг. 79) и *подвижного* (фиг. 80). Разсмотримъ сначала первый, но при этомъ не будемъ принимать во вниманіе вѣса веревки, сопротивленія ея при сгибаніи и тренія блока объ ось. Пусть на концы веревки дѣйствуютъ двѣ параллельныя силы P и Q (фиг. 79); найдемъ, при какихъ условіяхъ эти силы будутъ въ равновѣсіи. Если равновѣсіе уже существуетъ, то оно, очевидно, не нарушится, если вообразимъ, что веревка прикрѣплена къ блоку въ тѣхъ точкахъ A и B, гдѣ она съ блока сходитъ. Но тогда мы будемъ имѣть равноплечій прямолинейный рычагъ ACB, вращающійся около точки C, для равновѣсія котораго необходимо, чтобы

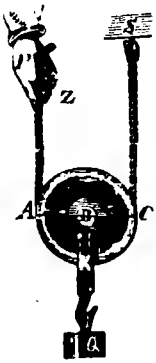
$$P = Q,$$

то есть, *для равновѣсія неподвижнаго блока, силы должны быть равны.* Когда силы не равны, то блокъ долженъ вращаться въ сторону большей силы. Такимъ образомъ, неподвижный блокъ не измѣняетъ величины силы, а только ея направленіе; въ силѣ мы здѣсь не выигрываемъ, и потому не теряемъ въ скорости [60].

Фиг. 78.



Фиг. 79.



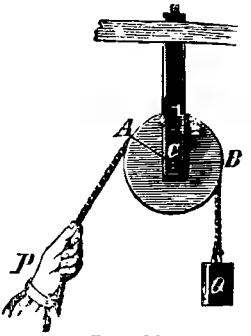
Фиг. 80.

70. Къ тому же результату придемъ въ случаѣ непараллельныхъ силъ (фиг. 81). Тогда рычагъ будетъ ломаный, котораго плечи перпендикулярны къ направленію силъ, а потому условіе равновѣсія выразится равенствомъ:

$$P.AC = Q.BC.$$

гдѣ $P.AC$ есть моментъ силы P, а $Q.BC$—моментъ Q. Замѣчая, что $AC = BC$, какъ радіусы одного и того же круга, получимъ, по раздѣленіи обѣихъ частей предыдущаго равенства на одно и то же количество,

$$P = Q.$$



Фиг. 81.

71. Въ подвижномъ блокѣ (фиг. 80) одинъ конецъ веревки, проходящей по желобу, укрѣпленъ неподвижно въ S, а на другой дѣйствуетъ сила P; наконецъ, къ обоймицѣ K, въ которой вращается ось B блока, приложена еще сила Q. Допустимъ для простоты, что обѣ части CS и AZ веревки между собою параллельны. Дѣйствіе такого блока можно уподобить прямолинейному рычагу второго рода, котораго точка опоры въ C, а точки приложенія силъ—въ A и B. Для равновѣсія рычага необходима пропорція:

$$\frac{P}{Q} = \frac{BC}{AC}$$

Но какъ отношеніе $\frac{BC}{AC}$ равно $^1/_2$, ибо радіусъ вдвое менѣе діаметра, то $P = {}^1/_2\, Q$.

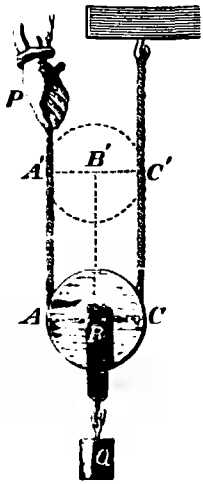
Слѣдовательно, *для равновѣсія параллельныхъ силъ на подвижномъ блокѣ, нужно, чтобы сила, дѣйствующая на веревку, проходящую по желобу, была вдвое менѣе силы, приложенной къ оси блока.*

Къ тому же выводу можно придти еще иначе. Сила P уравновѣшиваетъ силу Q помощію двухъ частей CS и AZ одной и той же веревки; но какъ натяжимость веревки во всѣхъ ея точкахъ одинакова и равна силѣ P, то можно сказать, что сила Q уравновѣшивается двумя равными параллельными силами, изъ которыхъ каждая равна P. Слѣдовательно, $Q = 2P$, откуда $P = {}^1/_2\, Q$.

Для удобства, веревку ZA можно перекинуть чрезъ неподвижный блокъ, который не измѣняетъ дѣйствія силы, а только ея направленіе.

72. Когда равновѣсія въ блокѣ не существуетъ, то пространство, пробѣгаемое точкою приложенія силы P, вдвое болѣе пространства, которое проходитъ точка приложенія силы Q. Пусть центръ B подвижного блока, а, слѣдовательно, и грузъ Q, поднятъ на высоту BB' (фиг.

82); тогда точка приложенія силы P должна пройти пространство, равное суммѣ веревокъ CC' и AA', что вдвое болѣе BB'. Такимъ образомъ: *сколько, посредствомъ подвижного блока, выигрываемъ въ силѣ, столько же теряемъ въ скорости, и обратно* [60].



Фиг. 82.

Замѣчая, что

$$AA' + CC' = 2BB'$$

и

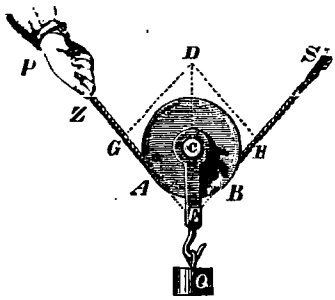
$$P = {}^1/_2\, Q,$$

будемъ имѣть, послѣ перемноженія соотвѣтственныхъ частей равенствъ:

$$P\,(AA' + CC') = Q.\ BB'.$$

то есть *произведеніе силы и пространства, пройденнаго точкою ея приложенія, есть величина для обѣихъ силъ постоянная.*

73. Въ общемъ случаѣ, когда части BS и AZ (фиг. 83) веревки не параллельны, можно разсматривать три силы: Q, дѣйствующую на ось блока, и двѣ силы натяженія частей BS и AZ одной и той же веревки, стремящіяся поднять блокъ; послѣднія двѣ силы равны между собою и силѣ P, дѣйствующей на конецъ веревки. Чтобы могло существовать равновѣсіе, сила Q должна быть равна и прямопротивна равнодѣйствующей обѣихъ силъ натяженія. Перенесемъ точки приложенія этихъ послѣднихъ силъ въ E, на взаимное пересѣченіе ихъ направленій, отложимъ равныя линіи EH и EG и построимъ на нихъ параллелограммъ $EGDH$. Равнодѣйствующая R представится діагональю ED и должна будетъ пройти чрезъ ось блока, потому что только тогда она можетъ быть уничтожена силою Q.



Фиг. 83.

Назвавъ чрезъ m уголъ ZES, образованный частями веревки, будемъ имѣть изъ треугольника DEH:

$$\frac{P}{R} = \frac{EH}{ED} = \frac{\operatorname{Sin}\angle EDH}{\operatorname{Sin}\angle EHD} = \frac{\operatorname{Sin}\frac{1}{2}m}{\operatorname{Sin} m}.$$

Замѣнивъ силу R равною ей силою Q и подставивъ $2\operatorname{Sin}\frac{1}{2}m \operatorname{Cos}\frac{1}{2}m$ на мѣсто $\operatorname{Sin} m$, получимъ:

$$\frac{P}{Q} = \frac{1}{2\operatorname{Cos}\frac{1}{2}m},$$

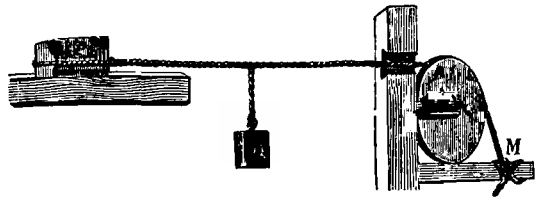
откуда

$$P = \frac{Q}{2\operatorname{Cos}\frac{1}{2}m}.$$

Того же вывода можно достичь, замѣняя блокъ рычагомъ второго рода BCA, котораго точка опоры въ B.—Въ частномъ случаѣ, когда веревки SB и ZA параллельны, и, слѣдовательно, $m=0$, получимъ:

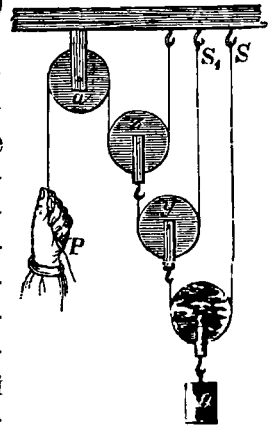
$$P = {}^1/_2 Q.$$

Если m близко къ 180°, то $\cos\frac{m}{2}$ приближается къ нулю, и P дѣлается въ безконечное число разъ болѣе Q. Это даетъ возможность получить, помощію веревки, весьма сильныя дѣйствія. Закрѣпимъ одинъ конецъ M (фиг. 84) натянутой веревки неподвижно, а другой привяжемъ къ подвижному тѣлу P, и приложимъ къ нѣкоторой точкѣ веревки весьма малую силу Q. Тогда веревка натянется съ такою большою силою, что можно будетъ передвигать огромные грузы P и вообще преодолѣвать чрезвычайно большія сопротивленія; по мѣрѣ того какъ, чрезъ перемѣщеніе точки приложенія сопротивленія P, веревка ослабѣваетъ, ее снова надо натягивать.



Фиг. 84.

74. Посредствомъ подвижного блока (фиг. 80), при параллельности веревокъ, грузъ Q можно уравновѣсить силою, равною половинѣ вѣса этого груза. Для полученія еще большаго дѣйствія совокупляютъ нѣсколько блоковъ вмѣстѣ. Такихъ машинъ, называемыхъ *полиспастами*, есть нѣсколько родовъ. Самый сильный, то есть въ которомъ одною и тою же силою можно преодолѣть наибольшее сопротивленіе, устроивается такъ. Подымаемый грузъ Q (фиг. 85) привѣшенъ къ обоймицѣ подвижного блока x, поддерживаемаго веревкой, одинъ конецъ которой прикрѣпленъ неподвижно въ S, а другой—къ обоймицѣ второго блока y; блокъ y также поддерживается веревкой, которая привязана однимъ концомъ S_1 къ неподвижной точкѣ, а другимъ—къ обоймицѣ третьяго блока z; наконецъ, третья веревка, обойдя этотъ блокъ, перекидывается чрезъ неподвижный блокъ u и натягивается силою P. Грузъ Q производитъ на обоймицу блока y давленіе, равное половинѣ своей величины или $^1/_2\,Q$. Третья обоймица z испытываетъ только половину этого давленія, т. е. $^1/_4 Q$.



Фиг. 85.

Наконецъ, третья веревка натягивается силою $^1/_8\,Q$, которая для равновѣсія должна быть равна силѣ P. Неподвижный блокъ u не измѣняетъ дѣйствія силы, а только ея направленіе. Итакъ, въ разсматриваемомъ случаѣ сила P равна $^1/_8$ сопротивленія Q. Еслибы подвижныхъ блоковъ было 4, то P равнялось бы $^1/_{16}Q$, и вообще, при n подвижныхъ блокахъ,

$$P = \frac{1}{2^n}\,Q.$$

Если бы n равнялось 20, то P составило бы менѣе одной милліонной доли Q.

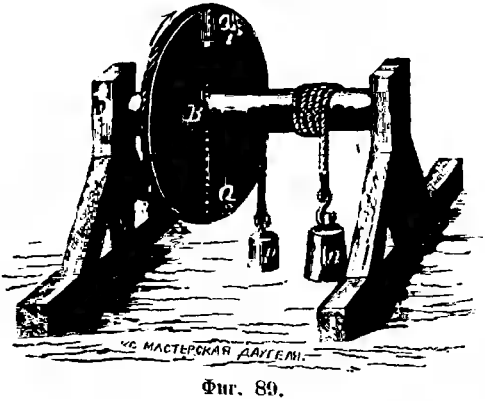
Этотъ полиспастъ имѣетъ ту невыгоду, что имъ можно поднимать грузы на высоту весьма незначительную.

Болѣе употребительны слѣдующіе полиспасты. Двѣ системы блоковъ распредѣляютъ въ двухъ обоймицахъ K и L (фиг. 86), изъ которыхъ одна L утверждена неподвижно. Веревка, прикрѣпленная въ t къ неподвижной обоймицѣ, обходитъ ближайшій нижній блокъ a подвижной обоймицы K и подымается на нижній блокъ h обоймицы L, потомъ обходитъ второй блокъ b нижней обоймицы и второй блокъ g верхней и т. д., и наконецъ, сойдя съ верхняго блока f, натягивается силою P. Къ подвижной обоймицѣ привѣшенъ грузъ Q. Чтобы найти отношеніе между силой P и сопротивленіемъ Q, замѣтимъ, что натянутость веревки должна быть во всѣхъ точкахъ одинакова и равна силѣ P. Поэтому, въ случаѣ трехъ подвижныхъ блоковъ, можно считать, что сила Q уравновѣшивается 6-тью равными и почти параллельными силами: слѣдовательно, $6P=Q$, откуда $P=\frac{1}{6}Q$. Вообще, если блоковъ будетъ n, то $P=\frac{1}{2n}Q$. Если, напримѣръ, подвижныхъ блоковъ 20, то $P=\frac{1}{40}Q$.

Фиг. 86.

Иногда блоки размѣщаютъ въ двухъ рамахъ L и K (фиг. 87).

Для сбереженія мѣста, неподвижные блоки насаживаются на одну общую ось C (фиг. 88); такъ же поступаютъ и съ подвижными. Веревка привязывается однимъ концомъ къ неподвижной обоймицѣ въ t и обходитъ попеременно блоки обѣихъ системъ. Здѣсь то же самое отношеніе между силою и сопротивленіемъ, какъ въ двухъ предыдущихъ полиспастахъ.



Фиг. 89.

75. Воротъ. Воротъ состоитъ изъ колеса B (фиг. 89), прикрѣпленнаго къ цилиндрическому бревну или *валу*, вращающемуся около своей оси на подставкахъ N. На окружность колеса дѣйствуетъ сила P при помощи веревки или какъ нибудь иначе, а на окружность вала — сила Q, параллельная первой. Что-

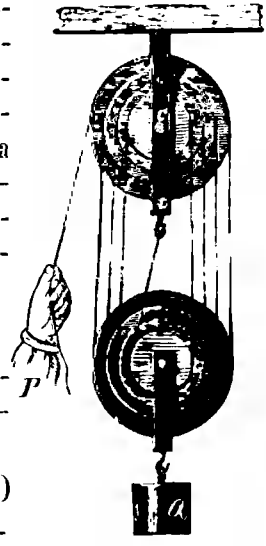
бы опредѣлить условіе равновѣсія этихъ силъ, надо сначала привести ихъ въ одну плоскость; для этого проведемъ изъ точки D, гдѣ веревка сходитъ съ вала, прямую линію по поверхности вала, параллельно его оси, до встрѣчи въ точкѣ B съ плоскостью, проходящею перпендикулярно къ оси вала, чрезъ направленіе силы P. Къ точкѣ B приложимъ двѣ силы Q_1 и Q_2, параллельныя и равныя силѣ Q. Силы Q_1 и Q взаимно уравновѣшиваются, ибо, по причинѣ одинаковыхъ обстоятельствъ для обѣихъ силъ, нѣтъ повода думать, почему бы одна изъ нихъ могла взять перевѣсъ надъ другой; остается только Q_2, лежащая въ одной плоскости съ силою P. Поэтому, воротъ (фиг. 90) можно разсматривать, какъ прямолинейный рычагъ перваго рода, у котораго точка опоры въ C, а плечи — BC и AC. Для равновѣсія его, должна существовать пропорція:

$$\frac{P}{Q} = \frac{BC}{AC},$$

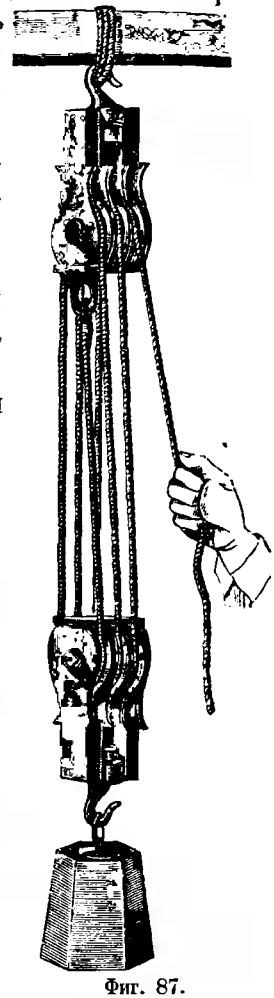
или, назвавъ радіусъ колеса чрезъ R, а вала — чрезъ r,

$$\frac{P}{Q} = \frac{r}{R} \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

то есть *сила, дѣйствующая на окружность колеса, должна быть, въ случаѣ равновѣсія, во столько разъ менѣе силы, приложенной къ окружности вала, во сколько радіусъ вала менѣе радіуса колеса.*

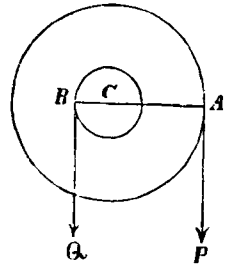


Фиг. 88.


Фиг. 87.

То же самое получается и въ общемъ случаѣ, то есть когда силы не параллельны (фиг. 91). Тогда для равновѣсія нужно равенство моментовъ. Но моментъ силы P есть $P.R$, а моментъ силы Q равенъ $Q.r$. Слѣдовательно,

$$P.R = Q.r.$$

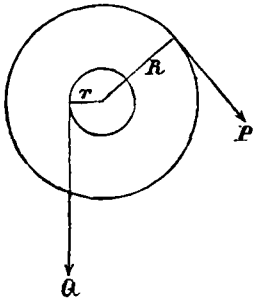


Фиг. 90.

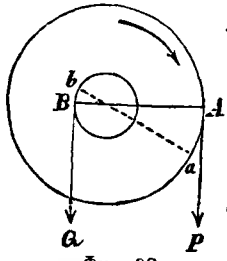
Разлагая равныя произведенія въ пропорцію, получимъ равенство:

$$\frac{P}{Q}=\frac{r}{R}$$

тожественное съ (1).



Фиг. 91.

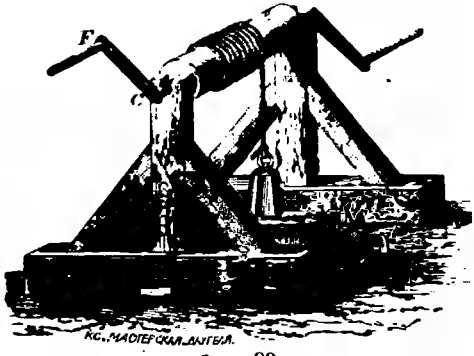


Фиг. 92.

Произведеніе изъ силы на пространство, пройденное точкою ея приложенія, — одно и то же для обѣихъ силъ, то есть (фиг. 92).

$$Q.\ Bb=P.\ Aa,$$

что не трудно доказать подобно тому, какъ это было сдѣлано для рычага. Слѣдовательно, въ воротѣ, какъ и въ другихъ машинахъ, сколько мы выигрываемъ въ силѣ, столько же теряемъ въ скорости, и обратно: теряя въ силѣ, выигрываемъ въ скорости.

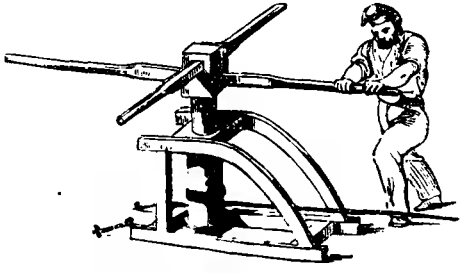


Фиг. 93.

Вмѣсто колеса, иногда употребляютъ только одну рукоятку CF (фиг. 93); дѣйствіе, очевидно, будетъ то же самое, только тогда въ равенствѣ (1), вмѣсто радіуса R, нужно взять CF—длину рукоятки.

Воротъ имѣетъ приложеніе при извлеченіи воды изъ колодцевъ, руды изъ рудниковъ и проч.

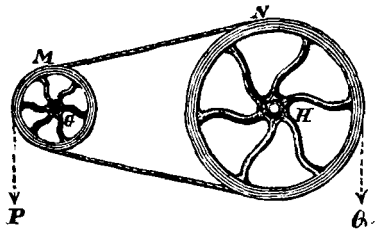
Воротъ бываетъ еще вертикальный (фиг. 94). Тогда онъ называется *кабестаномъ* и употребляется для передвиженія грузовъ по горизонтальному направленію, посредствомъ веревки, наматываемой на валъ.



Фиг. 94.

76. Безконечный ремень. *Безконечнымъ ремнемъ* называется сомкнутая веревка, или ремень, обхватывающіе два колеса G и H (фиг. 95); если станемъ вращать одно изъ колесъ H, то придетъ во вращеніе и другое G, вслѣдствіе тренія объ ихъ окружности. Такъ какъ скорости точекъ ремня и окружности колесъ долж-

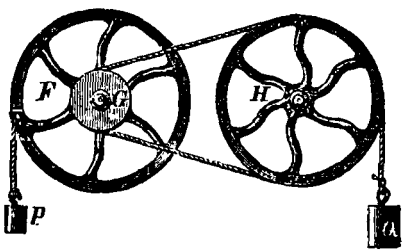
ны быть равны, то меньшее колесо G сдѣлаетъ во столько разъ большее число оборотовъ, чѣмъ колесо H, во сколько окружность перваго менѣе окружности второго, или, что все равно, во сколько радіусъ колеса G менѣе радіуса колеса H.



Фиг. 95.

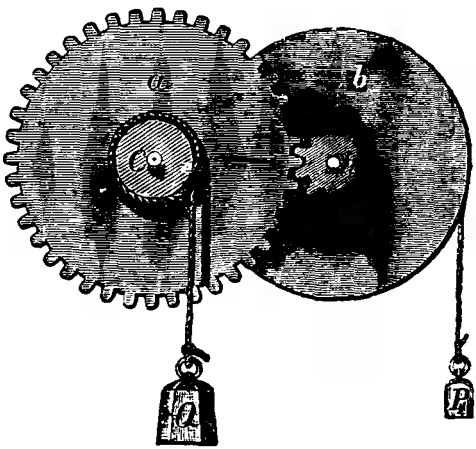
Если силы P и Q дѣйствуютъ непосредственно на окружности колесъ, то точки ихъ приложенія можно перенести на оконечности M и N верхней части ремня. Отсюда ясно, что для равновѣсія необходимо, чтобы силы P и Q были равны. Значитъ, въ силѣ мы здѣсь не выиграемъ, а потому не теряемъ и въ скорости. Правда, число оборотовъ для каждаго изъ колесъ, въ нѣкоторый промежутокъ времени, различно, но скорости точекъ, лежащихъ по ихъ окружности, равны между собою.

Пусть одна сила Q (фиг. 96) дѣйствуетъ на окружность колеса H, а другая сила P приложена къ окружности колеса F, веревка же обхватываетъ колесо H и валъ G, соединенный неподвижно съ колесомъ F; тогда сила P должна быть во столько разъ менѣе Q, во сколько радіусъ вала G менѣе радіуса колеса F. Здѣсь есть выигрышъ въ силѣ и, стало быть, потеря въ скорости, или наоборотъ.



Фиг. 96.

77. Зубчатыя колеса. *Зубчатое колесо* есть круглая пластинка a (фиг. 97), съ зубцами по окружности и вращающаяся на оси C. Зубцы колеса a захватываютъ зубцы второго колеса h меньшаго діаметра, называемаго *шестернею* и прикрѣпленнаго въ срединѣ большого колеса b. Пусть на окружность колеса b дѣйствуетъ сила P, а на окружность вала C, укрѣпленнаго на колесѣ a,— сила Q. Розыщемъ условія равновѣсія. Зубчатое колесо можно разсматривать



Фиг. 97.

какъ воротъ. Поэтому, сила Q, дѣйствующая на окружность вала, произведетъ зубцами колеса a на зубцы шестерни h давленіе, которое будетъ во столько разъ менѣе силы Q, во сколько R, радіусъ колеса a будетъ болѣе r, радіуса вала C, и, слѣдовательно, это давленіе будетъ равно

$$Q.\frac{r}{R}$$

Колесо b съ его шестернею можно также уподобить вороту, въ которомъ на окружность колеса дѣйствуетъ сила P, а на окружность вала—сила $Q.\frac{r}{R}$. Для равновѣсія должна существовать пропорція:

$$\frac{P}{Q.\frac{r}{R}} = \frac{r_1}{R_1}$$

гдѣ r_1 и R_1 означаютъ соотвѣтственно радіусы шестерни h и колеса b. Отсюда, чрезъ умноженіе обѣихъ частей равенства на дробь $\frac{r}{R}$, находимъ:

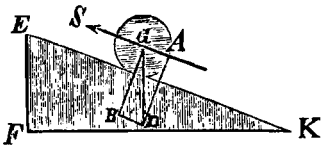
$$\frac{P}{Q} = \frac{r.\,r_1}{R.R_1},$$

то есть, *сила, дѣйствующая на окружность колеса должна быть во столько разъ менѣе силы, дѣйствующей на окружность вала, во сколько произведеніе радіуса вала и шестерни менѣе произведенія радіусовъ колесъ.* По окружности колеса b можно бы сдѣлать зубцы, заставивъ ихъ захватывать зубцы шестерни третьяго колеса, и т. д. и, наконецъ, въ окружности послѣдняго колеса приложить силу P. Тогда отношеніе этой силы къ Q сдѣлалось бы еще меньше.

Системы зубчатыхъ колесъ употребляются весьма часто, когда требуется малою силою преодолѣть большое сопротивленіе, напримѣръ при передвиженіи большихъ грузовъ, при разведеніи мостовъ и проч., или когда нужно получить очень быстрое вращательное движеніе. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ, силу заставляютъ дѣйствовать на шестерню одного изъ двухъ крайнихъ колесъ; тогда другое крайнее колесо сдѣлаетъ больше оборотовъ, чѣмъ первое въ то же время,—во столько разъ во сколько произведеніе радіусовъ всѣхъ колесъ болѣе произведенія радіусовъ шестерней. Тѣмъ же обстоятельствомъ пользуются въ часахъ, чтобы сообщить минутной стрѣлкѣ въ 12 разъ быстрѣйшее движеніе, чѣмъ часовой. Зубчатыя колеса имѣютъ еще приложеніе въ мельницахъ, гдѣ колесо съ лопатками, приводимое въ движеніе водою или вѣтромъ, сообщаетъ жернову быстрое вращательное движеніе.

Понятно, что въ зубчатыхъ колесахъ соотношеніе между силою и пространствомъ, пробѣгаемымъ точкою ея приложенія, то же самое, что и въ рычагѣ [60].

78. Наклонная плоскость. *Наклонная плоскость* есть простая машина, состоящая изъ неподвижной плоскости EK *) (фиг. 98), наклоненной къ направленію GD, по которому дѣйствуетъ сила Q на тѣло G, при чемъ тѣло G принуждено постоянно находиться на этой плоскости. Приложимъ къ тѣлу G еще силу S. Требуется опредѣлить, при какихъ условіяхъ тѣло G, повинуясь силамъ S и Q, останется въ равновѣсіи. Проведемъ плоскость FK, перпендикулярную къ GD; она пересѣчется съ плоскостью EK по прямой линіи K, перпендикулярной къ плоскости чертежа. Проведемъ еще плоскость EFK, содержащую линію GD и перпендикулярную къ прямой K. Тогда получимъ въ разрѣзѣ прямыя линіи EK и FK. Наконецъ, опустивъ перпендикуляръ EF съ какой ни есть точки EK на FK, будемъ имѣть прямоугольный треугольникъ EFK, въ которомъ сторона EF называется *высотою* наклонной плоскости, EK, разстояніе вершины перпендикуляра до вершины угла K, — *длиною* наклонной плоскости, а FK — *основаніемъ*. Для простоты предположимъ, что Q есть вѣсъ тѣла, приложенный къ центру тяжести G, и разсмотримъ только два случая: когда сила S дѣйствуетъ параллельно длинѣ наклонной плоскости и параллельно ея основанію.



Фиг. 98.

1) Разложимъ вѣсъ тѣла G, который обозначимъ черезъ Q, на двѣ силы, одну—по линіи GA, параллельной длинѣ наклонной плоскости, а другую—по GB, къ ней перпендикулярной. Послѣдняя сила уничтожится сопротивленіемъ наклонной плоскости, а первая, которую мы назовемъ чрезъ P, приведетъ тѣло въ движеніе. Для равновѣсія необходимо къ тѣлу G приложить силу S, равную и прямо противоположную P. Отношеніе P къ Q можно найти изъ треугольниковъ EFK и AGD, которые между собою подобны, потому что углы A и F равны, какъ прямые, а D и K—потому, что стороны одного перпендикулярны къ сторонамъ другого. Отсюда выходитъ пропорція:

$$\frac{GA}{GD}=\frac{EF}{EK}.$$

Подставивъ, на мѣсто отношенія линій GA и GD, отношеніе изображаемыхъ ими силъ, получимъ

$$\frac{S}{Q}=\frac{EF}{EK}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

то есть *сила, дѣйствующая параллельно длинѣ наклонной плоскости, въ случаѣ равновѣсія, во столько разъ менѣе силы пер-*

*) Плоскость EK перпендикулярна плоскости чертежа и представлена прямою линіею EK.

пендикулярной къ основанію, во сколько высота наклонной плоскости менѣе ея длины. Чѣмъ высота менѣе въ отношеніи длины, тѣмъ меньшею силою можно удержать тѣло на наклонной плоскости отъ паденія. Когда высота нуль, то не требуется никакой силы, что и понятно, потому что на горизонтальной плоскости вѣсъ тѣла уничтожается сопротивленіемъ подставки.

При подыманіи тѣла посредствомъ наклонной плоскости, хотя мы выигрываемъ въ силѣ, но зато теряемъ въ скорости. Пусть тѣло пробѣжало всю длину наклонной плоскости, поднявшись такимъ образомъ на высоту EF. Тогда точка приложенія силы S прошла пространство, равное длинѣ наклонной плоскости, между тѣмъ какъ центръ тяжести тѣла поднялся только на высоту наклонной плоскости. Изъ пропорціи (1) имѣемъ

$$S.\ EK = Q.\ EF,$$

то есть *произведеніе силы, параллельной длинѣ наклонной плоскости, на пространство, пройденное точкою приложенія этой силы, равно произведенію силы, параллельной высотѣ, на пространство, пройденное точкою ея приложенія по отвѣсному направленію.*

Замѣнивъ изъ прямоугольнаго треугольника EFK отношеніе $\frac{EF}{EK}$ величиною Sin K, будемъ имѣть, по равенству (1):

$$S = Q.\ \text{Sin}\ K.$$

Фиг. 99.

2. Разложимъ теперь силу Q (фиг. 99) на двѣ: одну P—по линіи GA, параллельной основанію наклонной плоскости, другую—по линіи GB, перпендикулярной къ длинѣ. Послѣдняя уничтожится сопротивленіемъ наклонной плоскости, первая же заставитъ тѣло G двигаться. Для равновѣсія необходимо къ тѣлу приложить силу S, равную и прямопротивную съ P. Изъ подобія треугольниковъ GAD и EFK находимъ:

$$\frac{GA}{GD} = \frac{EF}{FK};$$

$$\text{но}\ \frac{GA}{GD} = \frac{S}{Q};$$

слѣдовательно,

$$\frac{S}{Q} = \frac{EF}{FK}, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

откуда видимъ, что *для равновѣсія, сила, параллельная основанію наклонной плоскости, должна относиться къ силѣ параллельной высотѣ, какъ высота наклонной плоскости къ ея основанію.*

Чѣмъ меньше высота относительно основанія, тѣмъ меньшею силою можно удержать на наклонной плоскости тѣло отъ паденія. Такъ какъ отношеніе высоты къ основанію можетъ имѣть всевозможныя величины,

то сила, параллельная основанію, можетъ быть больше, меньше и равна силѣ, параллельной высотѣ.

Замѣчая, что

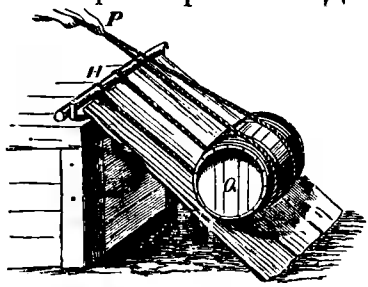
$$\frac{EF}{FK} = \text{tang } K,$$

получимъ изъ пропорціи (2):

$$S = Q \text{ tang } K.$$

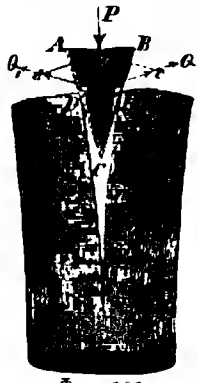
Въ предыдущемъ разсмотрѣніи мы предполагали, что основаніе наклонной плоскости горизонтально, а сила Q—перпендикулярна къ основанію. Однакожъ, выведенныя заключенія справедливы при всякихъ направленіяхъ основанія и силы,—лишь бы они были взаимно перпендикулярны.

Наклонная плоскость имѣетъ весьма обширныя приложенія. Для уменьшенія трудности подъема на гору, дорогамъ даютъ извилистый видъ, чтобы онѣ имѣли наименьшій наклонъ къ горизонту, хотя конечно чрезъ это увеличивается ихъ длина. Когда хотятъ вскатить бочку на телѣгу или вообще на возвышеніе, то кладутъ двѣ жерди и по нимъ двигаютъ бочку. Съ наклонной плоскостью можно соединить блокъ (фиг. 100); для этого укрѣпляютъ одинъ конецъ H веревки на верху наклонной плоскости, обводятъ веревку около вскатываемаго предмета, напр. бочки Q, а за другой конецъ веревки P тянутъ. Но самыя замѣчательныя приложенія наклонной плоскости—это клинъ и винтъ.



Фиг. 100.

79. Клинъ. *Клиномъ* называется трехгранная призма ABC (фиг. 101), которую вставляютъ въ промежутокъ между двумя предметами, чтобы удалить ихъ другъ отъ друга, напр. расколоть бревно. Клинъ можно представлять состоящимъ изъ двухъ наклонныхъ плоскостей, сложенныхъ своими основаніями. Пусть сила P дѣйствуетъ параллельно общему основанію и стремится вдвинуть клинъ въ разщелину бревна. Опредѣлимъ, какое давленіе испытываютъ раздвигаемыя части бревна отъ боковъ AC и BC клина. Для этого замѣтимъ, что точки D и E тѣла, испытывая давленіе со стороны клина, оказываютъ на него въ свою очередь давленіе перпендикулярно къ бокамъ, по направленіямъ DQ и EQ_1. Назвавъ эти давленія чрезъ Q и Q_1, перенесемъ точки



Фиг. 101.

ихъ приложенія въ a, на взаимное пересѣченіе ихъ направленій. Построивъ потомъ параллелограмъ $adbc$ на линіяхъ ac и ad, пропорціональныхъ Q и Q_1, найдемъ равнодѣйствующую R, изображаемую діагональю ab. Если клинь въ щель болѣе не вдвигается и не выталкивается, то есть находится въ покоѣ, то силы P и R должны быть равны и прямопротивны. Изъ подобія треугольниковъ ABC и abc, имѣемъ:

$$\frac{P}{Q}=\frac{ab}{ac}=\frac{AB}{AC}.$$

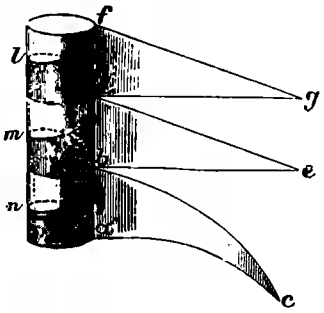
Подобнымъ образомъ находимъ:

$$\frac{P}{Q_1}=\frac{ab}{bc}=\frac{AB}{BC}.$$

Слѣдовательно, *сила, дѣйствующая на клинъ, во столько разъ менѣе давленія, испытываемаго одною изъ раздвигаемыхъ частей тѣла, во сколько толщина клина AB менѣе его бока, прикасающагося къ этой части.* Въ частномъ случаѣ, когда бока клина равны, давленія Q и Q_1, ими производимыя, также равны. Чѣмъ клинъ острѣе, или, что все равно, чѣмъ толщина клина менѣе сравнительно съ его боками, тѣмъ легче при его помощи преодолѣвать сопротивленіе.

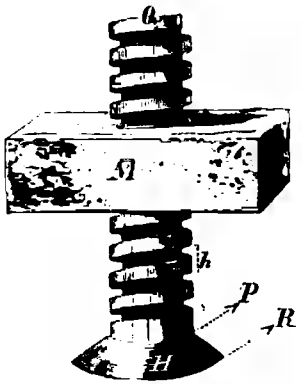
Клинъ имѣетъ приложеніе во всѣхъ острыхъ инструментахъ, топорахъ, долотахъ, ножницахъ и проч., которые, чѣмъ острѣе, тѣмъ легче преодолѣваютъ сцѣпленіе частицъ твердаго тѣла. Кромѣ того, здѣсь имѣетъ вліяніе еще то обстоятельство, что давленіе, произведенное рукою или чѣмъ другимъ на инструментъ, сосредоточивается на немногихъ точкахъ, которыхъ остріе касается; такъ что рѣжущая часть есть остріе, а бока клина только удаляютъ разъединенныя уже части тѣла другъ отъ друга и чрезъ то даютъ возможность острію дѣйствовать на слѣдующія части.

80. Винтъ. Вообразимъ наклонную плоскость abc (фиг. 102) и цилиндръ N, котораго окружность равна основанію наклонной плоскости. Обернемъ послѣднюю около цилиндра, такъ чтобы основаніе ея было перпендикулярно къ производящей линіи af. Тогда основаніе совпадетъ съ окружностью цилиндра, а длина—съ нѣкоторою линіею anb. Наложимъ на цилиндръ другую наклонную плоскость dbe, такъ чтобы ея основаніе было параллельно основанію первой, и чтобы высоты обѣ-



Фиг. 102.

ихъ лежали на одной прямой линіи af, составляя непосредственное продолженіе одна другой. Поступая такимъ же образомъ съ третьею наклонною плоскостью fdg и далѣе, получимъ на цилиндрѣ кривую линію $anbmdlf$, называемую *винтовою*. Каждая часть ея anb, bmd..., равная длинѣ наклонной плоскости, называется *витковъ*; разстояніе ab, bd... между двумя витками, по производящей линіи цилиндра, равное высотѣ наклонной плоскости,—*шириною витка* или *высотою винтового хода*. Цилиндръ, въ которомъ по направленію винтовой линіи сдѣлано углубленіе, называется *винтомъ* (фиг. 103). Если въ доскѣ M сдѣлаемъ отверстіе, внутри котораго нарѣжемъ винтообразныя углубленія, соотвѣтственныя возвышеніямъ винта, то получимъ *гайку*. Пусть въ такую гайку, укрѣпленную неподвижно, вставленъ винтъ, на верхъ котораго положенъ грузъ Q. Еслибы не было тренія между винтомъ и гайкой, то грузъ Q заставилъ бы винтъ вращаться и опускаться въ то же время. Чтобы удержать винтъ отъ паденія, достаточно приложить къ окружности его нѣкоторую силу P, которая стремилась бы повертывать винтъ въ противную сторону. Требуется опредѣлить, какое должно быть отношеніе между силами P и Q въ случаѣ равновѣсія. Для этого замѣтимъ, что грузъ Q давитъ посредствомъ винта на витки гайки M или, что все равно, на наклонную плоскость параллельно ея высотѣ, между тѣмъ какъ этой силѣ Q противодѣйствуетъ сила P, по направленію окружности цилиндра или, что все равно, параллельно основанію наклонной плоскости. Поэтому, *сила P, въ случаѣ равновѣсія, должна быть во столько разъ менѣе Q*, во сколько высота наклонной плоскости менѣе основанія, или *во сколько ширина витка менѣе окружности винта*; при этомъ предполагается, что тренія между винтомъ и гайкой не существуетъ, и что въ количество Q включенъ вѣсъ винта. Назвавъ ширину витка чрезъ h, а окружность винта чрезъ a, получимъ,



Фиг. 103.

$$\frac{P}{Q}=\frac{h}{a}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1).$$

Къ винту придѣлываютъ обыкновенно кружокъ H, называемый *головкой*, и силу прилагаютъ не къ окружности винта, а къ окружности головки; назовемъ эту силу чрезъ R. Тогда къ дѣйствію винта присоединяется дѣйствіе ворота, и потому сила R, для уравновѣшиванія груза

Q, должна быть менѣе силы P въ отношеніи a, окружности винта, къ c, окружности головки, то есть

$$\frac{R}{P}=\frac{a}{c} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (2).$$

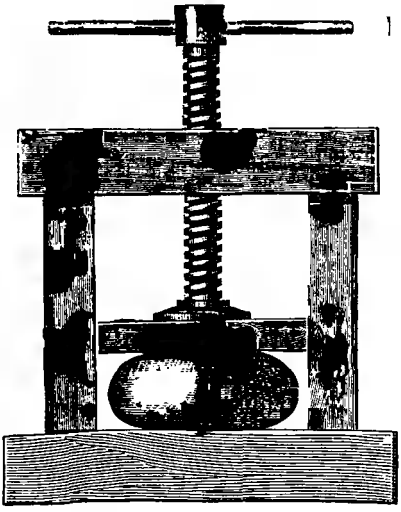
Перемноживъ два равенства (1) и (2), найдемъ

$$\frac{R}{Q}=\frac{h}{c};$$

слѣдовательно, *сила, дѣйствующая на окружность головки, должна относиться къ силѣ, параллельной оси винта, какъ высота витка къ окружности головки.* Еслибы напр. высота витка была $^1/_2$ линіи, а окружность головки 4 дюйма, то сила R составила бы $^1/_{80}$ часть груза Q.

Соотношеніе между силою и пространствомъ, пройденнымъ точкою ея приложенія, остается для винта то же самое, что и въ другихъ машинахъ: сила, дѣйствующая на окружность головки, во столько разъ менѣе подымаемаго груза, во сколько пространство, пробѣгаемое точкою приложенія первой силы, болѣе высоты, на которую подымаютъ грузъ.

Всѣ выведенныя слѣдствія относятся не только къ тому случаю, когда сопротивленіе Q есть вѣсъ, но вообще какая угодно сила.



Фиг. 104.

Винтъ имѣетъ приложеніе въ винтовомъ прессѣ (фиг. 104), посредствомъ котораго можно производить весьма сильныя давленія. Винтъ дѣйствуетъ на доску MN, подъ которую кладутъ какое либо тѣло, подлежащее сжатію.

Винтъ, употребляется еще для передачи движенія и въ этомъ случаѣ называется *безконечнымъ*. Онъ состоитъ изъ вала ab (фиг. 105) съ винтовыми нарѣзами, приводимаго во вращательное движеніе посредствомъ рукоятки c, либо какимъ нибудь инымъ способомъ. Нарѣзы скользятъ по зубцамъ колеса N и приводятъ его въ движеніе около оси:

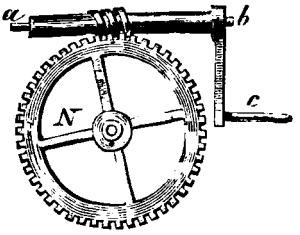
Микрометрическій винтъ есть также обыкновенный винтъ, но только съ очень малымъ винтовымъ ходомъ, и служитъ для малаго перемѣщенія предметовъ [19]. Если ширина витка была $^1/_2$ миллим., то, повернувъ головку винта на $^1/_{500}$ долю окружности, что всегда можно сдѣлать, мы перемѣстили бы предметъ на $0{,}001^{mm}$. Микрометрическій винтъ употребляютъ въ микроскопахъ, телескопахъ и многихъ дру-

гихъ физическихъ и астрономическихъ инструментахъ. Имъ пользуются механики при дѣленіи шкалъ. Для этого линейку, которую требуется раздѣлить на части, утверждаютъ неподвижно и, помощію винта, передвигаютъ вдоль ея подвижную часть, содержащую рѣзецъ; вращая головку винта послѣдовательно на равныя доли полнаго оборота, дѣйствуютъ каждый разъ рѣзцомъ и получаютъ на линейкѣ равноотстоящія другъ отъ друга замѣтки.

На скамейкѣ, привязанной къ веревкѣ, перекинутой чрезъ неподвижный блокъ, сидитъ человѣкъ и держитъ въ рукахъ другой конецъ веревки: съ какимъ усиліемъ онъ долженъ натянуть веревку, чтобы удержать себя отъ паденія?—На скамейкѣ, привязанной къ обоймицѣ подвижного блока, сидитъ человѣкъ и держитъ въ рукахъ одинъ конецъ веревки, которая обходитъ неподвижный и подвижной блоки, и которой другой конецъ закрѣпленъ неподвижно; съ какимъ усиліемъ человѣкъ долженъ тянуть за веревку, чтобы удержать себя отъ паденія?—Требуется уравновѣсить гирю въ 256 пудовъ силою въ 4 пуда посредствомъ полиспаста; сколько надо имѣть блоковъ, если взять для этой цѣли тотъ или другой изъ полиспатовъ, изображенныхъ на фигурахъ 85 и 86?—На окружность вала, котораго діаметръ равенъ 6 дюйм., дѣйствуетъ грузъ въ 100 пудовъ; какой величины должно быть колесо, чтобы сила въ 5 пудовъ, дѣйствующая на окружность этого колеса, уравновѣшивала упомянутые 100 пуд.?—На валъ зубчатаго колеса a (фиг. 97) съ 96-ю зубцами дѣйствуетъ сила 3 пуда. Зубцы этого колеса захватываютъ зубцы шестерни h съ 6-ю зубцами; шестерня h прикрѣплена къ колесу b о 96 зубцахъ, которое сцѣплено съ зубцами другой шестерни также съ 6-ю зубцами и въ свою очередь прикрѣпленной къ колесу также съ 96 зубцами; наконецъ, послѣднее захватываетъ шестерню о 6 зубцахъ, прикрѣпленную къ колесу безъ зубцовъ; какую силу надо приложить къ окружности послѣдняго колеса, чтобы удержать всю систему колесъ въ равновѣсіи?—Высота наклонной плоскости 6 сантиметровъ, а длина 10 сантиметр.; какъ велика должна быть сила, параллельная длинѣ или основанію наклонной плоскости, чтобы удержать на этой плоскости шаръ вѣсомъ въ 80 килограммовъ?—Основаніе наклонной плоскости 42 фута; какую надо дать ей высоту, чтобы грузъ въ 12 пудъ можно было удержать силою 2 пуда, дѣйствующей: 1) параллельно основанію и 2) параллельно длинѣ?—На гору 2000 футовъ отвѣсной высоты требуется устроить шоссейную дорогу; какъ велика будетъ ея длина, если наклонъ къ горизонту долженъ быть 5°?—Какое отношеніе силъ P и Q (фиг. 100), если высота наклонной плоскости h, а основаніе a?—Высота винтового хода въ винтовомъ прессѣ 6 линій (фиг. 104), діаметръ винта два дюйма; какой величины надо взять рычагъ, чтобы силою въ 4 пуда, дѣйствующею на конецъ этого рычага, произвести давленіе въ 300 пудовъ?—Опредѣлить соотношеніе между силами (фиг. 105), дѣйствующими на рукоятку c и окружность вала, прикрѣпленнаго къ колесу N.

О ТВЕРДОСТИ.

81. Твердое тѣло, вслѣдствіе частичныхъ силъ, обнаруживаетъ сопротивленіе къ разрыву, или разламыванію, и вообще къ перемѣнѣ формы, какъ напримѣръ скручиванію, сгибанію, сдавливанію, растяженію.

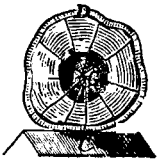


Фиг. 105.

Сопротивленіе при разрываніи. Сопротивленіе тѣла при разрываніи опредѣляется такъ. Приготовивъ призматическій или цилиндрическій прутъ AB (фиг. 106), укрѣпляютъ одинъ конецъ его неподвижно въ A, а къ другому B привѣшиваютъ чашку, на которую постепенно прибавляютъ грузы P, пока не произойдетъ разрывъ. Въ моментъ разрыванія,

*

ную къ B, не надо принимать во вниманіе, потому что она только препятствуетъ силѣ P опрокинуть съ подставки стержень BA; въ дѣйствіи силы P не произойдетъ никакого измѣненія, если даже допустить, что стержень AB укрѣпленъ въ B неподвижно. Въ то самое мгновеніе, когда происходитъ разломъ, моменты силъ P и Q должны быть равны. Первый моментъ есть произведеніе Pl, гдѣ l есть CA, половина длины прута или разстояніе отъ точки опоры C до точки привѣса груза P. Чтобы опредѣлить моментъ силы Q, надо знать величину самой силы и длину перпендикуляра, опущеннаго изъ точки опоры на ея направленіе. Сила Q есть ничто иное, какъ равнодѣйствующая взаимныхъ притяженій всѣхъ частицъ, расположенныхъ по площади поперечнаго разрѣза CH; всѣ эти частичныя силы дѣйствуютъ перпендикулярно къ плечу CH и, слѣдовательно, между собою параллельны; поэтому, Q равна ихъ суммѣ, а точка ея приложенія будетъ въ центрѣ тяжести площади CH. Изобразимъ на особой фигурѣ (фиг. 108) эту площадь, предполагая ее произвольной формы, и назовемъ чрезъ q взаимное притяженіе частицъ, лежащихъ на единицѣ площади, а чрезъ S площадь всего разрѣза CD; тогда найдемъ, что



Фиг. 108.

$$Q=Sq.$$

Поэтому, моментъ силы Q будетъ

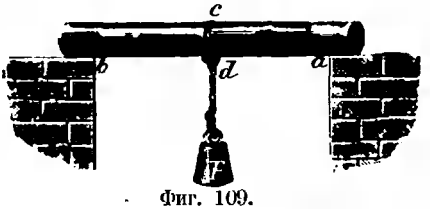
$$Sqr,$$

гдѣ r длина перпендикуляра GC, опущеннаго изъ точки опоры на направленіе силы Q, или, что все равно, разстояніе центра тяжести площади CD отъ точки опоры. Въ моментъ разлома должно быть

$$Pl=Sqr, \text{ откуда}$$

$$P=\frac{Sqr}{l} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (a).$$

Эта формула справедлива и въ томъ случаѣ, когда стержень подпертъ на концахъ въ a и b (фиг. 109), а сила P дѣйствуетъ на середину c. Разница будетъ только въ томъ, что должно разсматривать рычагъ не перваго рода, а второго cda, въ которомъ одно плечо cda, другое da, а точка опоры—въ a.



Фиг. 109.

По формулѣ (a) вычисляютъ сопротивленіе балокъ, употребляемыхъ въ зданіяхъ для поддерживанія потолковъ, крышъ и проч. Въ частномъ случаѣ, когда испытуемый стержень имѣетъ видъ прямоугольнаго параллелепипеда, $S=ha$ (фиг. 110), гдѣ a означаетъ ширину поперечнаго разрѣза, а h высоту. Такъ какъ центръ тяжести прямоугольника лежитъ на пересѣченіи діагоналей, то $r=\frac{h}{2}$. Поэтому,

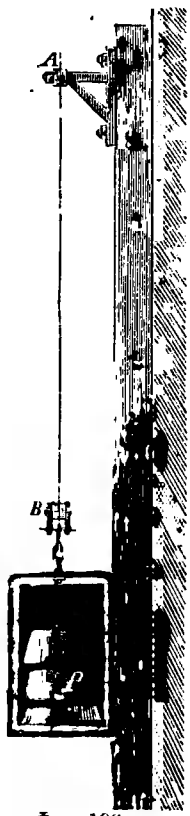
Фиг. 110.

$$P=\frac{\frac{1}{2}qah^2}{l}.$$

Изъ формулы прямо вытекаютъ приведенные выше законы.

Изъ нея же выходятъ и другія слѣдствія. Пусть $h>a$; повернемъ стержень такъ, чтобы высота h сдѣлалась основаніемъ, а a—высотой. Тогда сопротивленіе, которое назовемъ чрезъ R, выразится формулой

$$R=\frac{\frac{1}{2}qha^2}{l}.$$



Фиг. 106.

вѣсъ гирь вмѣстѣ съ чашкою и оторваннымъ кускомъ прута равняется силѣ сцѣпленія частицъ, лежащихъ на поперечномъ разрѣзѣ прута AB. Изъ такихъ изслѣдованій оказалось, что сопротивленіе тѣла при разрываніи не зависитъ отъ длины и формы прута и, для одного и того же вещества, пропорціонально площади поперечнаго разрѣза. Результатъ этотъ не трудно было предвидѣть, потому что сопротивленіе къ разрыву очевидно должно быть пропорціонально числу разъединяемыхъ частицъ.

Сопротивленіе различно для разныхъ тѣлъ, что можно видѣть изъ нижеслѣдующей таблицы. Обозначенныя въ ней вещества при опытахъ имѣли видъ проволокъ, которыхъ площадь поперечнаго разрѣза была равна одному квадратному миллиметру; вѣсъ выраженъ въ килограммахъ.

Олово . . .	2,5	Сталь . . .	80
Свинецъ. . .	2,5	Красное дерево .	5
Золото . . .	27	Дубъ	7
Серебро . . .	29	Букъ	8
Платина. . .	34	Ель	8
Мѣдь . . .	40	Ясень . . .	12
Желѣзо . . .	61		

Эти числа относятся къ непродолжительному дѣйствію грузовъ; когда прутъ долженъ испытывать давленіе неопредѣленно долгое время, то данныя предыдущей таблицы надо уменьшить втрое. Наконецъ, они показываютъ взаимное сцѣпленіе частицъ только въ мѣстѣ разрыва, гдѣ поперечный разрѣзъ бываетъ меньше, нежели въ какой нибудь другой точкѣ прута.

82. Сопротивленіе къ разлому. Вообразимъ стержень AB (фиг. 107), положенный серединою C на подставку. На концы его навѣшиваютъ равные грузы P и P_1 до тѣхъ поръ, пока не произойдетъ разлома. Сопротивленіе тѣла въ этомъ случаѣ измѣряется величиною одного изъ равныхъ грузовъ P или P_1. Опыты показали, что *сопротивленіе къ разлому, прута имѣющаго видъ параллелепипеда, сгибаемаго около одной изъ его граней, обратно пропорціонально длинѣ прута, прямо пропорціонально его ширинѣ и прямо пропорціонально квадрату высоты.* Эти законы можно объяснить на основаніи свойствъ рычага. Для простоты сужденій мы будемъ предполагать, что каждый изъ испытуемыхъ стержней однороденъ по всей своей массѣ. Сила груза P и взаимное притяженіе разъединяемыхъ частицъ Q дѣйствуютъ на ломанный рычагъ HCA; первая—на плечо CA, второе—на CH. Третью силу P_1, приложен-

Фиг. 107.

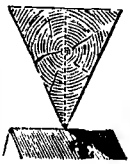
Раздѣливъ первое равенство на второе, получимъ

$$\frac{P}{R} = \frac{h}{a}.$$

Это показываетъ, что когда высота болѣе основанія, то балка можетъ выдержать большій грузъ, нежели въ обратномъ случаѣ, то есть когда высота менѣе основанія.

Если балка имѣетъ видъ трехгранной равнобедренной призмы, опирающейся на одну изъ боковыхъ граней, то въ формулѣ (a) надо подъ S разумѣть площадь треугольника (фиг. 111), произведеннаго сѣченіемъ призмы плоскостью, перпендикулярною къ ребрамъ, а подъ r—одну треть высоты треугольника. Когда же призма опирается на ребро, образованное двумя равными гранями (фиг. 112), то r будетъ равно $^2/_3$ высоты. Слѣдовательно, во второмъ случаѣ трехгранный стержень можетъ выдерживать ровно вдвое болѣе, нежели въ первомъ.

Фиг. 111.



Фиг. 112.

Фиг. 113.

Пусть изъ равныхъ количествъ одного и того же вещества приготовлены двѣ цилиндрическія балки одинаковой длины: одна сплошная, другая съ цилиндрической полостью. Первая въ разрѣзѣ представитъ кругъ B (фиг. 113), другая—кольцо A, которыхъ площади должны быть равны, потому что по условію объемы балокъ также равны. Центръ тяжести кольца далѣе отстоитъ отъ точки опоры, нежели центръ тяжести круга. Назвавъ чрезъ P и R сопротивленіе къ разлому балокъ полой и сплошной, а чрезъ a и b—разстоянія центровъ тяжести ихъ сѣченій отъ точки опоры, получимъ:

$$P = \frac{Sqa}{l},$$

$$R = \frac{Sqb}{l}.$$

Раздѣливъ первое на второе, найдемъ:

$$\frac{P}{R} = \frac{a}{b},$$

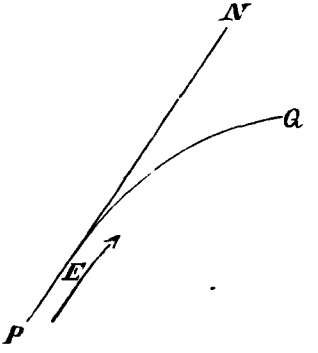
то есть изъ двухъ цилиндрическихъ балокъ, одинаковой длины и равнаго вѣса, полая внутри оказываетъ большее сопротивленіе.

Наконецъ, замѣтимъ, что коэффиціентъ q выражаетъ сопротивленіе къ разрыву прута [81], котораго поперечный разрѣзъ есть единица плоскостной мѣры; его можно вычислить также изъ другихъ наблюденій по формулѣ (a). Для этого приготовляютъ стержень изъ испытуемаго вещества и находятъ, чрезъ непосредственное измѣреніе, количества: P, S, r и l; тогда

$$q = P\frac{l}{Sr}.$$

ЦЕНТРОБѢЖНАЯ СИЛА.

83. Понятіе о центробѣжной силѣ. Если привяжемъ камень на нитку и станемъ вращать его около руки, то нитка натянется: увеличивая скорость камня, мы можемъ дойти до того, что нитка, наконецъ, оборвется. Слѣдовательно, при движеніи камня, обнаруживается какая-то сила, стремящаяся удалить камень отъ руки. Это явленіе объясняется инерціею. Свободное тѣло, получивъ толчекъ отъ мгновенной силы, имѣетъ стремленіе двигаться по прямой линіи и равномѣрно и оказываетъ сопротивленіе всякой причинѣ, которая стремится измѣнить такое движеніе. Поэтому, тѣло, принужденное описывать кривую линію PEQ (фиг. 114), стремится въ каждой точкѣ своего пути, напр. E, сойти съ кривой и двигаться по касательной PN. Отъ этого нить (въ приведенномъ выше примѣрѣ) натягивается камнемъ; если въ кривомъ каналѣ заставимъ двигаться шаръ, то стѣнки канала будутъ испытывать давленіе. Сила, съ которою тѣло имѣетъ наклонность двигаться прямолинейно и производитъ, вслѣдствіе того, давленіе на препятствія, мѣшающія такому движенію, называется *центробѣжной*: она дѣйствуетъ на тѣло по направленію, перпендикулярному къ касательной въ той точкѣ, гдѣ въ данный моментъ находится тѣло. Если кривая линія, по которой тѣло A движется, есть окружность (фиг. 115), то центробѣжная сила дѣйствуетъ на движущееся тѣло по направленію радіуса и стремится удалить тѣло отъ центра окружности; отсюда ея названіе—центробѣжная сила.



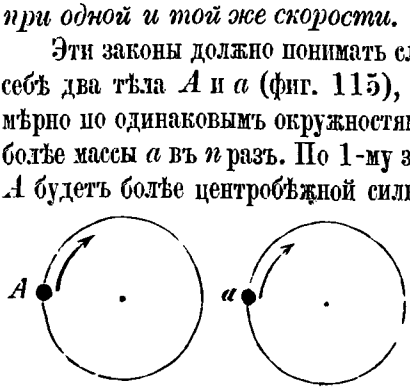
Фиг. 114.

Центробѣжной силой объясняются многія явленія. Если въ стаканъ, повѣшенный на веревку, нальемъ воды и будемъ быстро вращать около руки, то жидкость не прольется. Когда лошадь скачетъ по окружности арены въ циркѣ, то наклоняется къ центру круга, потому что иначе, отъ дѣйствія центробѣжной силы, должна была бы упасть за окружность. Быстро бѣгущій человѣкъ по прямой линіи долженъ употребить большое усиліе, если захочетъ измѣнить направленіе бѣга. Грязь, прилипшая къ колесамъ быстро двигающагося экипажа, отскакиваетъ, вслѣдствіе стремленія двигаться прямолинейно. При движеніи своемъ около солнца, планеты повинуются двумъ силамъ: притяженію къ солнцу и центробѣжной силѣ; притяженіе стремится приблизить планету къ солнцу, а центробѣжная сила заставляетъ ее оставить свой путь и дви-

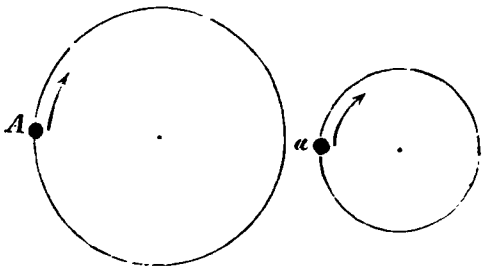
гаться по касательной линіи къ орбитѣ. Если бы вещество не обладало свойствомъ инерціи, то не существовало бы и центробѣжной силы, и планеты попадали бы на солнце; если бы прекратилось взаимное притяженіе солнца съ планетами, то планеты навсегда удалились бы отъ солнца.

Опыты показываютъ, что: *1) центробѣжная сила прямо пропорціональна массѣ, 2) прямо пропорціональна квадрату скорости, при одной и той же окружности, и 3) обратно пропорціональна радіусу окружности, по которой тѣло двигается, при одной и той же скорости.*

Эти законы должно понимать слѣдующимъ образомъ. Представимъ себѣ два тѣла A и a (фиг. 115), разной массы, двигающіяся равномѣрно по одинаковымъ окружностямъ съ равными скоростями. Масса A болѣе массы a въ n разъ. По 1-му закону, центробѣжная сила для тѣла A будетъ болѣе центробѣжной силы для a также въ n разъ. Вообразимъ два тѣла A и a (фиг. 116) одинаковой массы, двигающіяся равномѣрно по одинаковымъ окружностямъ съ разными скоростями. Пусть скорость тѣла A болѣе скорости тѣла a въ m разъ; по 2-му закону, центробѣжная сила для перваго будетъ болѣе центробѣжной силы для второго въ m^2 разъ. Наконецъ, пусть тѣла A и a (фиг. 117) равной массы двигаются равномѣрно, съ одинаковыми скоростями, по окружностямъ различныхъ радіусовъ. Если радіусъ окружности, описываемой тѣломъ A, болѣе радіуса другой окружности въ k разъ, то, по 3-му закону, центробѣжная сила тѣла A должна быть менѣе центробѣжной силы тѣла a въ k разъ.



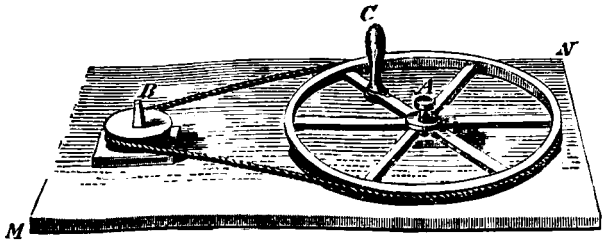
Фиг. 116.



Фиг. 117.

84. Центробѣжная машина. Законы центробѣжной силы повѣряются посредствомъ особаго прибора, называемаго *центробѣжною машиною*. Она состоитъ изъ двухъ колесъ (фиг. 118) разной величины, вращающихся на осяхъ A и B, которыя утверждены на столикѣ MN. Колеса соединены снуркомъ. Если станемъ вращать большее колесо за ручку C, то и меньшее колесо придетъ въ движеніе. Когда большее колесо сдѣлаетъ одинъ оборотъ, меньшее обернется столько разъ, сколько

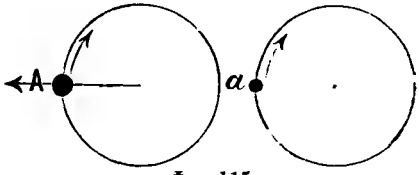
окружность его содержится въ окружности большаго. Изъ этого описа-



Фиг. 118.

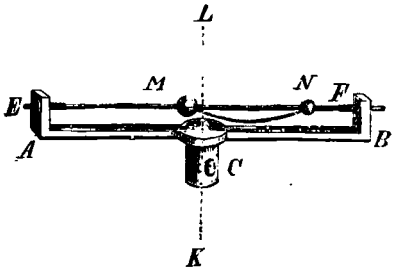
нія ясно, что центробѣжная машина представляетъ не болѣе, какъ примѣненіе безконечнаго ремня [76].

Съ центробѣжною машиною можно дѣлать весьма много опытовъ, между которыми замѣтимъ слѣдующіе:



Фиг. 115.

1) Берутъ деревянную линейку AB (фиг. 119); къ выдающимся частямъ ея придѣлываютъ прутъ EF, по которому двигаются два металлическіе шара равной величины M и N, соединенные цѣпочкой. Прикрѣпивъ приборъ къ малому колесу центробѣжной машины, посредствомъ винта C, и помѣстивъ шары въ равномъ разстояніи отъ оси KL, приведемъ рукою большее колесо въ быстрое вращательное движеніе. Тогда шары принуждены будутъ описывать окружности, которыхъ центры лежатъ на оси KL. Отъ этого разовьются центробѣжныя силы, которыя натянутъ цѣпочку, но шары останутся въ равновѣсіи, потому что ихъ массы, скорости и радіусы окружностей, по которымъ они вращаются, равны между собою. Если теперь поставимъ шары не въ одинаковыхъ разстояніяхъ отъ оси, то шаръ, болѣе удаленный, возьметъ перевѣсъ, и оба отскочатъ на одинъ конецъ линейки. Вмѣсто равныхъ шаровъ, можно взять два неравныхъ; если помѣстимъ ихъ въ одинаковыхъ разстояніяхъ отъ оси и станемъ вращать большее колесо центробѣжной машины, то большій шаръ перетянетъ меньшій. Наконецъ, шары могутъ быть въ равновѣсіи, если большій помѣстимъ ближе къ оси, чѣмъ меньшій.

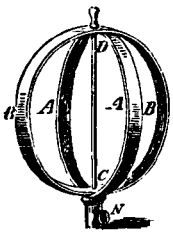


Фиг. 119.

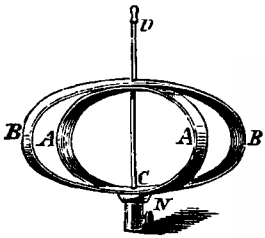
2) Двѣ дугообразныя мѣдныя пластинки A и B (фиг. 120) скрѣп-

лены въ C неподвижно, а въ D соединены прутомъ CD, который проходитъ чрезъ отверстія, сдѣланныя на верху ихъ. Приборъ привинчиваютъ винтомъ N къ малому колесу центробѣжной машины. Если этотъ приборъ привести во вращательное движеніе, то каждая матеріальная частица дугообразныхъ пластинокъ подвергнется дѣйствію центробѣжной силы, по направленію, перпендикулярному къ оси. Отъ этого пластинки сплющатся по вертикальному направленію (фиг. 121).

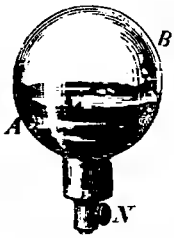
3) Въ стеклянный шаръ AB (фиг. 122) наливаютъ жидкостей: ртути, воды и масла, которыя распредѣляются по степени ихъ плотности, такъ что внизу будетъ ртуть, далѣе вода и наконецъ масло; шаръ привинчиваютъ потомъ, посредствомъ винта N, къ малому колесу центробѣжной машины и приводятъ въ быстрое вращательное движеніе; жидкости поднимаются и образуютъ кольцеобразные слои, такъ что наружный слой будетъ ртутный, далѣе водяной и, наконецъ, масляный (фиг. 123).



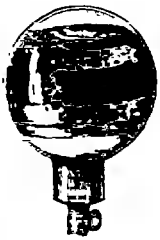
Фиг. 120.



Фиг. 121.



Фиг. 122.


Фиг. 123.

85. Вліяніе центробѣжной силы на силу тяжести. При вращательномъ движеніи земли около оси, разныя точки земной поверхности двигаются по окружностямъ, центры которыхъ лежатъ на оси вращенія. Отъ этого является центробѣжная сила, которая стремится удалить тѣла отъ земной поверхности и этимъ уменьшаетъ ихъ вѣсъ; наибольшее вліяніе она обнаруживаетъ на экваторіальныя страны, гдѣ составляетъ $^1/_{288}$ часть силы тяжести; на полюсахъ она равна нулю. Тяжесть, кромѣ того, менѣе у экватора, чѣмъ у полюсовъ, еще потому, что земля не есть совершенный шаръ, но сплюснута по направленію оси вращенія, такъ что поверхность ея у полюсовъ ближе къ центру почти на 20 верстъ, чѣмъ точки экватора.

Можно ли обыкновенными вѣсами убѣдиться, что тяжесть въ разныхъ точкахъ земли не одинакова? Разрѣшить тотъ же вопросъ относительно пружинныхъ вѣсовъ.—Почему неопытный ѣздокъ при быстромъ и неожиданномъ поворотѣ лошади падаетъ?—Отчего на крутыхъ изгибахъ желѣзныхъ дорогъ ѣдутъ медленно?—Гдѣ болѣе вѣсъ тѣлъ: на вершинѣ горы, или у ея подошвы, и по какимъ причинамъ?—Почему шары M и N (фиг. 119) равной массы, находясь въ равномъ разстояніи отъ оси LK, остаются при вращеніи линейки AB въ равновѣсіи?—Если шаръ M отстоитъ отъ линіи LK на 3 дюйм., а другой N той же массы — на

7 дюйм., то во сколько разъ центробѣжная сила перваго менѣе центробѣжной силы второго?—Опредѣлить, во сколько разъ центробѣжная сила для широты въ 60° менѣе центробѣжной силы на земномъ экваторѣ.—Какъ великъ уголъ, составляемый направленіемъ центробѣжной силы съ вертикальною линіей въ Петербургѣ (широта 60°)? — Какъ великъ тотъ же уголъ на экваторѣ?—Объяснить гимнастическое упражненіе, называемое гигантскими шагами.

О ПЛОТНОСТИ.

86. Измѣненіе плотности тѣлъ съ температурою. Всякое тѣло при нагрѣваніи увеличивается въ объемѣ [22], а при охлажденіи сжимается, и, слѣдовательно, при разныхъ температурахъ должно имѣть различную плотность [7]; вообще, съ возвышеніемъ температуры плотность уменьшается. Вода представляетъ замѣчательное исключеніе изъ этого общаго закона *): при нагрѣваніи отъ точки замерзанія до 4°, она сжимается. а при дальнѣйшемъ возвышеніи температуры, начинаетъ расширяться, подобно всѣмъ тѣламъ природы. Такимъ образомъ, при температурѣ 4° эта жидкость имѣетъ наибольшую плотность; иначе сказать: если вода имѣетъ температуру 4°, то будемъ ли мы ее нагрѣвать, или охлаждать, она во всякомъ случаѣ расширяется, и, слѣдовательно, плотность ея уменьшается. Въ слѣдующей таблицѣ показана плотность воды при разныхъ температурахъ.

Темп.	Плотность.	Темп.	Плотность.	Темп.	Плотность.	Темп.	Плотность.	Темп.	Плотность.
—9°	0,998371	—1°	0,999776	7°	0,999929	16°	0,998979	24°	0,997297
—8	0,998628	0	0,999873	8	0,999878	17	0,998794	25	0,997078
—7	9,998865	1	0,999927	9	0,999783	18	0,998612	26	0,996800
—6	0,999082	2	0,999966	10	0,999731	19	0,998422	27	0,996562
—5	0,999202	3	0,999999	11	0,999640	20	0,998213	28	0,996274
—4	0,999437	4	1, »	12	0,999527	21	0,998004	29	0,995986
—3	0,999577	5	0,999999	13	0,999414	22	0,997784	30	0,995688
—2	0,999692	6	0,999969	14	0,999285	23	0,997566	100	0,958636
				15	0,999125				

Розысканіе удѣльнаго вѣса. Чтобы опредѣлить удѣльный вѣсъ какого либо тѣла, нужно взвѣсить это тѣло и воду въ равныхъ объемахъ и первый вѣсъ раздѣлить на второй [7]. Такъ какъ при нагрѣваніи плотность измѣняется, то необходимо указывать температуры испытуемаго вещества и воды. Согласились относить удѣльный вѣсъ къ наибольшей плотности воды, то есть къ той плотности, которую эта жидкость имѣетъ при 4°; сравниваемое тѣло должно быть взято при температурѣ 0°. Такимъ образомъ, если говорятъ, что удѣльный вѣсъ

*) Сюда относятся также нѣкоторые металлическіе сплавы, обладающіе, впрочемъ, наибольшею плотностью въ твердомъ состояніи.

золота есть 19, то, значитъ, плотность этого вещества при 0^0 въ 19 разъ болѣе плотности воды при 4^0; другими словами: золото при 0^0 содержитъ въ 19 разъ болѣе вещества, нежели вода въ томъ же объемѣ при 4^0; или еще иначе: золото при 0^0 въ 19 разъ тяжеле воды того же объема при 4^0.

Трудность въ опредѣленіи удѣльнаго вѣса зависитъ отъ того, что необходимо во всей точности отмѣривать равные объемы воды и испытуемаго вещества. Такъ какъ объемы зависятъ отъ температуры, то ихъ слѣдовало бы брать при одной и той же температурѣ, или еще лучше: воду при 4^0, а испытуемое вещество при 0^0. Впрочемъ, наблюденія можно производить при какой угодно температурѣ, а потомъ, зная, какъ измѣняются объемы испытуемаго тѣла и воды съ измѣненіемъ температуры, вычисляютъ истинный удѣльный вѣсъ, относя воду къ 4^0, а тѣло—къ 0^0.

87. Для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей, берутъ флаконъ *A* (фиг. 124) или склянку, запираемую притертой стеклянной пробкой, въ которой есть узкій каналъ, оканчивающійся воронкой *n*; приборъ наполняютъ чистой водой, которую сначала кипятятъ, чтобы выгнать изъ нея воздухъ, и потомъ погружаютъ въ тающій снѣгъ. Когда вода приметъ температуру снѣга, то, помощію пропускной бумаги, изъ воронки жидкость выбираютъ, пока ея уровень не будетъ находиться противъ замѣтки *m*. Затѣмъ, сосудъ изъ снѣга вынимаютъ, обсушиваютъ и взвѣшиваютъ. Вычтя вѣсъ одного прибора изъ вѣса прибора съ водою, получимъ вѣсъ воды. Такъ же поступаютъ и съ другой жидкостью. Такъ какъ объемы въ обоихъ случаяхъ равны, то раздѣливъ вѣсъ испытуемой жидкости на вѣсъ воды, получимъ удѣльный вѣсъ этой жидкости.—Для вѣрности выводовъ необходимо сравнивать жидкости при равныхъ объемахъ, но какъ емкость сосуда *A* съ измѣненіемъ температуры измѣняется, то наблюденія должно производить при одной и той же температурѣ; вотъ почему флаконъ *A* погружаютъ при каждомъ испытаніи въ тающій снѣгъ.

Фиг. 124.

88. Найденный такимъ образомъ удѣльный вѣсъ относится къ водѣ при 0^0; зная ея собственный удѣльный вѣсъ при этой температурѣ, легко вычислить удѣльный вѣсъ испытуемаго вещества въ отношеніи воды при 4^0. Назовемъ чрезъ *D* наблюденный удѣльный вѣсъ, то есть отнесенный къ плотности воды при 0^0, чрезъ *d*—истинный удѣльный вѣсъ вещества, и чрезъ *c*—удѣльный вѣсъ воды при 0^0. Такъ какъ *c*

менѣе *1*, то d менѣе D, и именно во столько разъ, во сколько c менѣе *1*: слѣдовательно,

$$\frac{d}{D}=\frac{c}{1},$$

откуда

$$d=Dc,$$

то есть истинный удѣльный вѣсъ равняется наблюденному, умноженному на удѣльный вѣсъ воды при 0^0. По таблицѣ [86] $c=0,999873$.

89. Подобнымъ образомъ можно опредѣлить удѣльный вѣсъ и твердаго тѣла. На чашку вѣсовъ помѣщаютъ испытуемое тѣло и флаконъ, наполненный водою, которую освобождаютъ кипяченіемъ отъ воздуха и охлаждаютъ до 0^0, какъ въ предыдущемъ случаѣ, и уравновѣшиваютъ гирями, положенными на другую чашку. Пусть вѣсъ этихъ гирь будетъ p. Затѣмъ, снявъ сосудъ A, кладутъ чрезъ его горло испытуемое твердое тѣло; отъ этого часть воды вытѣснится. Потомъ, кипяченіемъ выгоняютъ воздухъ, который находился въ жидкости и прилипъ къ поверхности испытуемаго тѣла въ видѣ пузырьковъ, и охлаждаютъ до 0^0. Когда поставимъ приборъ опять на одну изъ чашекъ вѣсовъ, то на другую, для равновѣсія, придется положить меньше гирь, чѣмъ прежде: наприм. q. Разность $p-q$ выразитъ вѣсъ вытѣсненной воды или вѣсъ воды, взятой въ объемѣ испытуемаго тѣла. Назовемъ еще вѣсъ твердаго тѣла чрезъ r. Тогда частное $\frac{r}{p-q}$ выразитъ искомый удѣльный вѣсъ. Совершенно такъ же поступаютъ, когда тѣло имѣетъ видъ порошка, какъ напримѣръ песокъ. Если же вещество растворимо въ водѣ, то плотность его должно сравнивать съ плотностью такой жидкости, въ которой это вещество не растворяется, откуда уже не трудно получить истинный удѣльный вѣсъ. Ниже помѣщена таблица удѣльнаго вѣса наиболѣе замѣчательныхъ тѣлъ:

Платина кованая. . .	23,000	Олово плавленое . . .	7,291
Платина плавленая. .	19,500	Цинкъ плавленый . .	6,861
Золото плавленое. . .	19,258	Алюминій	2,700
Иридій плавленый . .	18,680	Натрій	0.997
Ртуть.	13,596	Калій.	0.865
Свинецъ плавленый . .	11,350	—	
Серебро плавленое . .	10,474	Іодъ.	4,948
Висмутъ плавленый. .	9,822	Алмазъ	3.531
Мѣдь плющенная. . .	8,950	Флинтгласъ	3,330
Мѣдь плавленая . . .	8,850	Графитъ.	2,500
Сталь отвареная . . .	7,816	Сѣра	2,086
Желѣзо	7,788	Фосфоръ.	1,770

Черное дерево	1,33	Сѣрная кислота сгущен.	1,841
Букъ	0,85	Азотная кислота сгущ.	1,451
Ясень	0,84	Сѣроуглеродъ	1,263
Ель	0.65	Молоко	1,030
Кедръ	0,56	Оливковое масло . . .	0,915
Береза	0,36	Терпентинъ	0,870
Пробка	0.24	Нефть.	0,847
—		Алькоголь безводный .	0,806
Бромъ	2,966	Сѣрный эфиръ	0,715

90. Объемъ, вѣсъ и плотность находятся между собою въ зависимости, такъ что, зная двѣ изъ этихъ величинъ, можно вычислить третью. Пусть тѣло, котораго удѣльный вѣсъ равенъ d, занимаетъ объемъ v, и имѣетъ вѣсъ p. Предположимъ, что объемъ выраженъ въ кубическ. сантиметрахъ, а вѣсъ—въ граммахъ. 1 кубич. сантим. воды при 4° вѣситъ 1 граммъ, а v кубич. сантим.—v грам. Чтобы найти вѣсъ v кубич. сантим. вещества, коего плотность равна d, должно v помножить на d, и мы получимъ

$$p = v.\ d,$$

т. е. *число вѣсовыхъ единицъ какого либо вещества равно числу единицъ занимаемаго имъ объема, умноженному на удѣльный вѣсъ этого вещества*, или, какъ иногда выражаются короче—вѣсъ равенъ произведенію объема на плотность. Изъ предыдущей формулы также видно, что отношеніе вѣса къ объему равно плотности.

Для другихъ единицъ мѣры формула усложняется. Избравъ, наприм., для объема кубич. дюймъ, а для вѣса золотникъ и замѣчая, что вѣсъ кубич. дюйма воды при 4° равенъ 3.84 золотника, легко вывести, что

$$p = 3{,}84.\ v.\ d$$

Называя вообще чрезъ q—вѣсъ единицы объема, найдемъ

$$p = q.\ v.\ d$$

При помощи найденной зависимости разрѣшаются многіе вопросы.

1. Найти вѣсъ еловаго бревна, длиною въ 5,4 метра и толщиною въ 400 миллиметровъ, считая его совершеннымъ цилиндромъ. Объемъ его равенъ $\pi.\ 20^2.\ 5{,}4 = 67825$ куб. сант., а вѣсъ $67825.\ 0{,}65 = 44075$ грам.

2. Найти емкость сосуда.

Для этого обыкновенно употребляютъ ртуть и производятъ два взвѣшиванія: сосуда пустого и наполненнаго этою жидкостью. Пусть напр. пустая склянка вѣситъ 7 золотниковъ, а со ртутью—400 зол.; слѣдовательно, вѣсъ ртути будетъ 393 зол. Объемъ этого количества

ртути равенъ. очевидно, емкости склянки. Вѣсъ одного кубическаго дюйма воды равенъ 3,84 золотн., и, слѣдовательно, вѣсъ того же объема ртути 3.84.13,596 или, приблизительно, 52 зол. Ртуть, въ количествѣ 393 зол. имѣетъ въ объемѣ столько кубич. дюймовъ, сколько разъ 52 зол. содержатся въ 393 зол. Раздѣливъ 393 на 52, найдемъ число 7,6. Итакъ, емкость склянки равна 7,6 куб. дюйма.

3. Пустая склянка вѣситъ 68,3 грам., а со ртутью 813,7 грам. Найти емкость склянки.? 54,8 куб. сант.

4. Стеклянный кубъ, у котораго каждая сторона равна 45^{mm}, вѣситъ 275 грам. Опредѣлить удѣльный вѣсъ стекла. Объемъ куба равенъ $(4,5)^3$. Раздѣливъ вѣсъ 275 грам. на объемъ $(4,5)^3$, получимъ для удѣльнаго вѣса стекла 3,02.

Какъ великъ объемъ склянки, если въ нее входитъ $2^1/_3$ фунта ртути?—Во сколько разъ ртуть плотнѣе мѣди?—Сколько вѣситъ цилиндрическая желѣзная колонна, которой діаметръ равенъ 3 футамъ, а высота 20 футамъ?—Опредѣлить вѣсъ (въ килограммахъ) свинцоваго шара 1^m, 13 въ діаметрѣ.—Опредѣлить діаметръ желѣзной проволоки въ 40 футовъ длины и два фунта вѣса.—Внутренній цилиндрическій каналъ стеклянной трубки, длиною въ 9 дюймовъ, былъ наполненъ ртутью, отчего вѣсъ трубки увеличился на 40 золотниковъ; опредѣлить діаметръ канала.—Опредѣлить объемъ оболочки, вмѣщающей 70,5 грамма сѣрнаго эфира.—Узнать объемъ желѣзнаго куска вѣсомъ въ 24 килограмма.—Какъ великъ радіусъ серебрянаго шара вѣсомъ въ 30 фунтовъ.

О ЖИДКОСТЯХЪ.

91. Понятіе о жидкости; гидростатика. Жидкостью называютъ собраніе матеріальныхъ частицъ, одаренныхъ весьма слабымъ сцѣпленіемъ и удобоподвижностью или текучестью [2]. Поэтому, жидкость принимаетъ форму сосуда, въ который налита, и безъ сосуда не имѣетъ на земной поверхности опредѣленной формы; еслибы мы и дали жидкости какой нибудь видъ, напр. приготовили изъ нея вертикальный столбъ, то сила тяжести, стремясь приблизить къ центру земного шара всѣ тѣла, заставила бы такой столбъ разлиться по поверхности земли.

Часть физики, излагающая условія, при которыхъ жидкость находится въ равновѣсіи, называется *гидростатикой*.

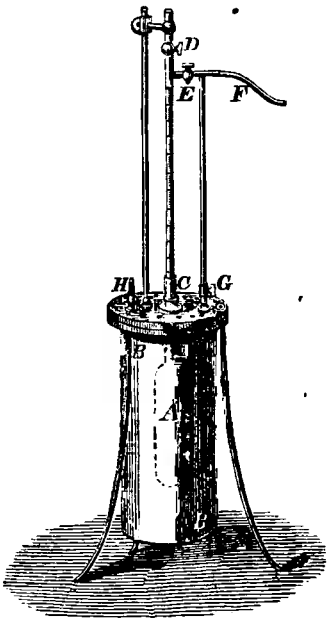
92. Два рода явленій въ жидкостяхъ. Жидкости на земной поверхности всегда находятся подъ вліяніемъ тяжести; сцѣпленіе жидкихъ частицъ можетъ въ большей или меньшей степени измѣнить вліяніе этой силы. Поэтому, въ жидкостяхъ наблюдаются явленія двухъ родовъ: 1) явленія, зависящія отъ тяжести, и 2)—сцѣпленія частицъ жидкости.

Тяжесть обнаруживаетъ большее дѣйствіе на большія массы, нежели на малыя; сцѣпленіе въ жидкостяхъ чрезвычайно мало и не измѣняется

съ увеличеніемъ массы всей жидкости. Отъ этого въ большихъ массахъ преобладаетъ сила тяжести, въ малыхъ—сцѣпленіе частицъ жидкости.

93. **Сжимаемость жидкостей.** Всѣ жидкости въ большей или меньшей степени можно сжимать.

Опредѣленіемъ степени сжиманія жидкостей занимались многіе ученые. Самое большое затрудненіе при наблюденіяхъ заключается въ томъ, что сосуды, содержащіе сжимаемую жидкость, сами расширяются, и потому находимые результаты весьма далеки отъ истины. Чтобы устранить это, придумали приборъ, называемый *пiезометромъ*. Реньо далъ ему слѣдующее устройство. Испытуемая жидкость заключается въ резервуаръ A (фиг. 125), къ которому придѣлана трубка CD, раздѣленная на дѣленія. Объемъ оболочки A и отношеніе дѣленій трубки къ этому объему должны быть тщательно измѣрены. Резервуаръ A помѣщаютъ въ мѣдный цилиндрическій сосудъ BB, наполненный водою и плотно закрытый крышкой, чрезъ которую проходитъ трубка CD. Чрезъ трубку F можно вталкивать воздухъ либо по трубкѣ E въ оболочку A, либо по FG—въ сосудъ BB. Степень сжатія воздуха опредѣляется помощію особаго прибора, называемаго *манометромъ* *). Краны D и H служатъ для сообщенія оболочки и мѣднаго резервуара съ наружнымъ воздухомъ. Наблюденія производятся слѣдующимъ образомъ:



Фиг. 125.

1) Запираютъ краны E и H и отпираютъ G и D; потомъ, вталкивая нагнетательнымъ насосомъ **) чрезъ трубку FG воздухъ, производятъ на поверхность воды въ сосудѣ BB давленіе, которое будетъ передано стѣнкамъ сосуда A. Такъ какъ кранъ D открытъ, то жидкость изъ A свободно подымется по трубкѣ CD, и число дѣленій, которыя она пробѣжитъ, обозначитъ уменьшеніе объема резервуара A. Отсюда, зная форму и размѣры оболочки A, можно будетъ вычислить сжимаемость стекла.

2) Запираютъ краны D и H, отпираютъ E и G и снова сгущаютъ воздухъ. Хотя стѣнки резервуара A сдавливаются теперь съ обѣихъ сторонъ одинаково, однакожъ пониженіе жидкости въ трубкѣ будетъ болѣе надлежащаго, потому что емкость резервуара A, чрезъ сжатіе его стѣнокъ, увеличится. Это увеличеніе можно вычислить, когда уже найдена изъ предыдущаго опыта сжимаемость стекла. Такимъ образомъ, для полученія истиннаго сжатія жидкости, должно вычесть изъ числа дѣленій, на которое оно понизилось, увеличеніе емкости сосуда.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ дано уменьшеніе единицы объема нѣ-

*) Устройство его изложено ниже [139].
**) Устройство этого прибора также изложено ниже [140].

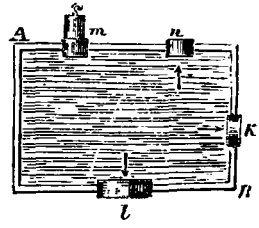
которыхъ жидкостей, когда на каждый дюймъ поверхности произведено давленіе въ 16,1 фунта.

Ртуть.	0,00000295
Вода	0.0000503
Хлороформъ	0,0000625
Алкоголь	0,000101
Сѣрный эфиръ . . .	0,000167

Одинъ кубическій футъ воды напр., при упомянутомъ выше давленіи, сокращается на 0,0000503 кубическаго фута.

Изъ этой таблицы видимъ, что сжимаемость жидкостей весьма мала. На днѣ океана вода находится подъ чрезвычайно сильнымъ давленіемъ; однакоже, предполагая наибольшую глубину даже въ 50000 футовъ, нельзя допустить, чтобы плотность воды могла увеличиться болѣе, чѣмъ на 0,07 своей величины.

94. Законъ передачи давленія. Во всѣхъ явленіяхъ, наблюдаемыхъ въ жидкостяхъ, замѣчается слѣдующій общій законъ: *если на какую либо часть поверхности жидкости, заключенной въ закрытый со всѣхъ сторонъ сосудъ, производится давленіе, то оно передается черезъ жидкость во всѣ стороны, съ равною силою,* такъ что каждая квадратная единица стѣнки сосуда испытываетъ какъ разъ то же давленіе, какое производится на квадратную единицу поверхности жидкости. Представимъ себѣ ящикъ AB (фиг. 126), наполненный водою, и пусть въ стѣнкахъ его сдѣланы круглыя вырѣзки, въ которыя плотно вставлены поршни m, n k. Если станемъ вдвигать поршень m, надавливая рукою, или положивъ на него гирю, то другіе два n и k выдвинутся; если поверхности всѣхъ поршней между собою равны, то, для удержанія ихъ въ равновѣсіи, потребно приложить къ каждому силу, равную давленію на поршень m.

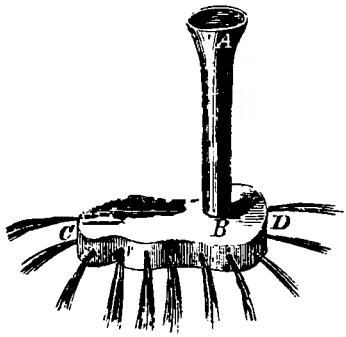


Фиг. 126.

Законъ этотъ, открытый Паскалемъ и называемый *закономъ гидростатическаго давленія*, тогда бы только обнаружился со всею ясностью, еслибы жидкость была невѣсома, и еслибы поршни могли двигаться въ отверстіяхъ безъ тренія; удовлетворить этимъ условіямъ на опытѣ невозможно, а потому, для удержанія поршней въ равновѣсіи, когда на одинъ изъ нихъ произведено давленіе, всегда приходится употреблять силу значительно меньшую или бо́льшую надлежащей. Такимъ образомъ, чтобы удержать въ равновѣсіи поршень l, надо приложить къ нему силу, равную давленію, производимому на поршень m,

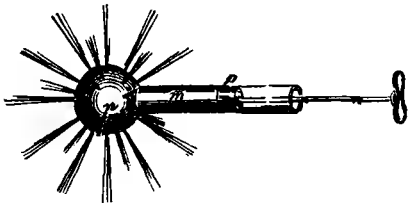
прибавить сюда то давленіе, которое производитъ вода на поршень l. вслѣдствіе своего вѣса, и вычесть треніе поршней l и m о стѣнки. Законъ Паскаля оправдывается, хотя и не вполнѣ точно, на слѣдующемъ приборѣ.

Вообразимъ вертикальную трубку AB (фиг. 127), придѣланную несимметрично къ невысокому, неправильной формы сосуду CD, на бокахъ котораго просверлены отверстія, лежащія въ одной горизонтальной плоскости. Въ трубку AB чрезъ воронку A наливаютъ воды. Раздѣлимъ мысленно жидкость въ трубкѣ горизонтальными, чрезвычайно близкими одна къ другой плоскостями; первый верхній слой собственнымъ вѣсомъ давитъ на второй, два верхніе—на третій, три—на четвертый и т. д. Если упомянутый законъ справедливъ, то всѣ частицы жидкости, лежащія на горизонтальной плоскости, проведенной чрезъ отверстія, должны выдерживать одинаковое давленіе, а потому струи воды, выходящія изъ отверстій, должны быть одинаковой длины, что и въ самомъ дѣлѣ наблюдается.



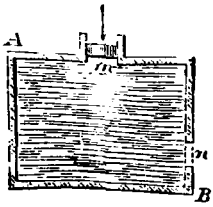
Фиг. 127.

Иногда употребляютъ еще такой приборъ. Мѣдный или стеклянный цилиндръ m (фиг. 128) оканчивается шаромъ n, въ которомъ надѣлано множество отверстій; если наполнимъ шаръ водою и станемъ вдвигать поршень p, то вода брызнетъ изъ всѣхъ отверстій.



Фиг. 128.

§ 95. Законъ гидростатическаго давленія объясняется удобоподвижностью частицъ жидкости. Пусть сосудъ AB (фиг. 129) наполненъ невѣсомою жидкостью и имѣетъ отверстіе съ плотно входящимъ, также невѣсомымъ поршнемъ m, который можетъ двигаться безъ тренія. Если произведемъ на поршень какое нибудь давленіе, равное напр. одному фунту, то прилегающая къ нему жидкость будетъ сжата; частицы ея сблизятся, но сжатый слой жидкости, стремясь, вслѣдствіе своей упругости, занять прежній объемъ, окажетъ давленіе на слой ниже лежащій. При такихъ условіяхъ равновѣсіе



Фиг. 129.

невозможно, потому что частицы, лежащія на границѣ, которая отдѣляетъ сжатую жидкость отъ несжатой, или болѣе сжатую отъ менѣе сжатой, будутъ съ одной стороны испытывать большее давленіе, нежели съ другой. Такимъ образомъ, какъ только станемъ вдвигать поршень, то частицы, вслѣдствіе своей удобоподвижности, станутъ перемѣщаться до тѣхъ поръ, пока жидкость не будетъ повсюду одинаково уплотнена. Затѣмъ, частицы жидкости, вслѣдствіе стремленія ихъ удалиться другъ отъ друга, произведутъ давленіе на стѣнки сосуда, съ тою же силою, какая дѣйствуетъ на поршень *m*. Отдѣлимъ мысленно на стѣнкѣ сосуда площадь *n*, такой же величины, какъ поперечный разрѣзъ поршня *m*; такъ какъ къ обѣимъ площадямъ будетъ прилегать одно и то же число частицъ жидкости, то давленіе на площадь *n* должно быть равно одному фунту, то есть *давленіе передается во всѣ стороны съ равною силою.*

Какъ слѣдствіе изъ закона гидростатическаго давленія, выходитъ, что *давленіе жидкости прямо пропорціонально поверхности*, потому что, во сколько разъ больше поверхность, во столько же разъ будетъ болѣе число прилегающихъ къ ней частицъ. Если поршень *n* (фиг. 126) болѣе поршня *m* втрое, то, для удержанія его въ равновѣсіи, потребуется сила, которая должна быть также втрое болѣе силы, дѣйствующей на поршень *m*.

Въ дополненіе къ закону гидростатическаго давленія замѣтимъ, что частицы жидкости при равновѣсіи придавливаются перпендикулярно къ стѣнкамъ сосуда, потому что въ противномъ случаѣ онѣ не оставались бы въ покоѣ, но скользили бы вдоль стѣнокъ.

96. Видъ жидкой массы, подверженной только одной силѣ взаимнаго притяженія частицъ. Всякое тѣло на земной поверхности находится подъ вліяніемъ тяжести; ничто однакожъ не мѣшаетъ намъ вообразить жидкость, на которую эта сила не дѣйствуетъ, или, наконецъ, чтобы не противорѣчить опыту, можно представить себѣ нѣкоторое количество вѣсомой жидкости, удаленной на столь большое разстояніе отъ земли, что дѣйствіе силы тяжести сдѣлается нечувствительнымъ. Поставленная въ такія условія, жидкость будетъ находится только подъ вліяніемъ сцѣпленія собственныхъ частицъ, для равновѣсія которыхъ должна будетъ принять нѣкоторую опредѣленную форму. Механика доказываетъ, что если дать такой жидкости видъ шара, то она сохранитъ этотъ видъ вѣчно, и самыя частицы ея будутъ постоянно въ равновѣсіи. До сихъ поръ нѣтъ общепонятнаго объясненія этого закона: мы даже не знаемъ, въ одной ли формѣ шара невѣсомая жидкость можетъ быть въ равновѣсіи, или возможны и другія формы. Впрочемъ,

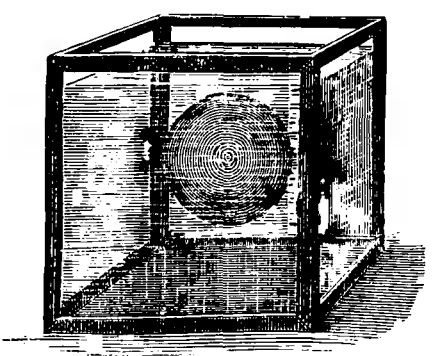
наблюденія и опытъ даютъ право утверждать съ большою вѣроятностію, что шаръ есть единственная форма равновѣсія жидкости.

Изслѣдованіе верхнихъ пластовъ земли показываетъ, что внутренность ея имѣетъ чрезвычайно высокую температуру. Это обстоятельство и нѣкоторыя другія заставляютъ полагать, что первоначально вся земля была въ состояніи жидкости, которая, повинуясь сцѣпленію своихъ частицъ, приняла въ то время шарообразную форму. Но, вслѣдствіе вращенія ея на оси, явилась центробѣжная сила, которая заставила частицы, лежащія у экватора, удалиться отъ центра, и земля приняла видъ эллипсоида, сплюснутаго по направленію оси и расширеннаго подъ экваторомъ. Впрочемъ, поверхность этого эллипсоида столь близко подходитъ къ сферической, что безъ ощутительной погрѣшности землю можно считать за шаръ.

То же подтверждаетъ намъ и шарообразный видъ планетъ, вѣроятно, первоначально находившихся, подобно землѣ, въ расплавленномъ состояніи. Наконецъ, моря и океаны ограничиваются поверхностью, весьма близкой къ шаровой.

Въ малыхъ массахъ жидкость повинуется болѣе сцѣпленію ея частицъ, нежели тяжести [92]; и въ самомъ дѣлѣ, капли жидкости имѣютъ шарообразную форму, тѣмъ болѣе совершенную, чѣмъ онѣ менѣе. Таковы капли дождя и ртути, вылитой съ нѣкоторой высоты на столъ.

Наконецъ, Плато далъ слѣдующее доказательство. Прованское масло, какъ извѣстно, плаваетъ на водѣ и тонетъ въ спиртѣ; слѣдовательно, можно приготовить такую смѣсь изъ воды и спирта, что масло будетъ оставаться въ ней въ равновѣсіи во всякомъ положеніи, не всплывая на верхъ и не опускаясь внизъ. Если масло не падаетъ, то, стало быть, сила тяжести на него не дѣйствуетъ, и оно, повинуясь теперь только сцѣпленію частицъ, принимаетъ шарообразную форму. Опытъ производится въ сосудѣ съ плоскими стѣнками (фиг. 130), потому что предметы, разсматриваемые чрезъ прозрачныя средины, ограниченныя кривыми поверхностями, напр. чрезъ стаканъ съ водою, кажутся обезображенными, т. е. представляются не въ томъ видѣ, какой они имѣютъ въ дѣйствительности.



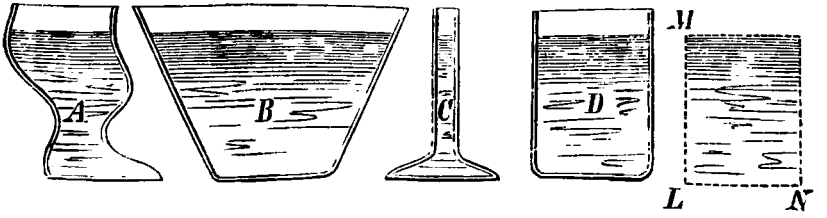
Фиг. 130.

Равновѣсіе вѣсовыхъ жидкостей.

97. Поверхность жидкости въ спокойномъ состояніи. Воды океана въ спокойномъ состояніи ограничиваются сверху шаровой поверхностью, которой радіусъ равенъ радіусу земного шара или почти 6000 верстамъ: если отдѣлимъ мысленно на этой поверхности небольшое пространство, напр. въ одинъ квадратный футъ, то безъ ощутительной погрѣшности, по причинѣ большой величины радіуса земли, можно считать плоскостью столь малую часть всей земной поверхности. Вѣсомая жидкость, налитая въ сосудъ, также должна сверху ограничиваться сферическою поверхностью, которой радіусъ равняется радіусу земли; но если сосудъ не великъ, какъ это обыкновенно бываетъ, то можно допустить, что эта поверхность совпадаетъ съ горизонтальною плоскостью; напротивъ, въ большихъ водоемахъ, напр. въ озерѣ, кривизною пренебречь нельзя, и приведенное выше правило не имѣетъ мѣста. Итакъ, *вѣсомая жидкость, налитая въ сосудъ, ограничивается сверху горизонтальною плоскостью.*

Если въ одномъ сосудѣ налиты нѣсколько несмѣшивающихся жидкостей, напр. ртуть, вода и масло, то онѣ распредѣляются по степени ихъ плотности; внизу будетъ жидкость самая плотная, то есть ртуть, затѣмъ менѣе плотная—вода, и наконецъ масло, обладающее наименьшею плотностью, при чемъ жидкости отдѣлятся одна отъ другой горизонтальными плоскостями.

98. Давленіе жидкости на дно и стѣнки сосуда. Когда вѣсомая жидкость налита въ сосудъ, то верхніе слои, вслѣдствіе собственнаго вѣса, производятъ давленіе на нижніе слои; это давленіе передается также стѣнкамъ и дну сосуда. Паскаль доказалъ, что *давленіе вѣсомой жидкости на дно не зависитъ отъ формы сосуда и равняется вѣсу ея вертикальнаго столба, котораго высота равна высотѣ жидкости въ сосудѣ а основаніе—площади дна.* Пусть даны сосуды разной формы (фиг. 131) *A*, *B*, *C* и *D* съ равными дна-

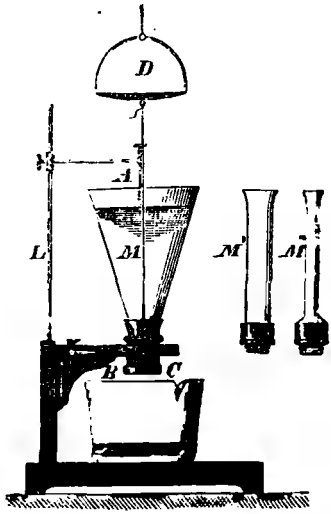


Фиг. 131.

ми и пусть въ нихъ налита до одной и той же высоты жидкость; несмотря на разныя ея количества и, слѣдовательно, вѣсъ, дно во всѣхъ сосу-

дахъ претерпѣваетъ одно и то же давленіе, равное вѣсу жидкаго столба MLN, у котораго основаніе LN равно площади дна, а высота ML— высотѣ жидкости въ сосудахъ.

Что давленіе вѣсомой жидкости на дно сосуда не зависитъ отъ формы сосуда, если только величина дна его и высота жидкости остаются одинаковыми, доказывается слѣдующимъ образомъ. Къ чашкѣ D вѣсовъ (фиг. 132) привѣшиваютъ на снуркѣ стеклянную пластинку BC, которая служитъ дномъ сосуду M; края сосуда M и пластинка должны быть хорошо пришлифованы. На другую чашку вѣсовъ кладутъ гирю, которая натягиваетъ нить и придавливаетъ снизу пластинку CB къ сосуду M. Сосудъ M состоитъ изъ двухъ частей: верхняя, расширяющаяся вверхъ, отвинчивается, а нижняя, цилиндрическая, въ видѣ широкаго кольца, прикрѣплена къ столику K. Въ сосудъ M мало по малу наливаютъ воды; отъ этого пластинка BC будетъ испытывать сверху давленіе, которое постепенно увеличивается. Очевидно, будетъ мгновеніе, когда давленіе жидкости возьметъ перевѣсъ надъ дѣйствіемъ гири, положенной на другую чашку вѣсовъ, пластинка CB отпадетъ, и вода начнетъ выливаться. Тогда замѣчаютъ ея уровень помощію указателя A.

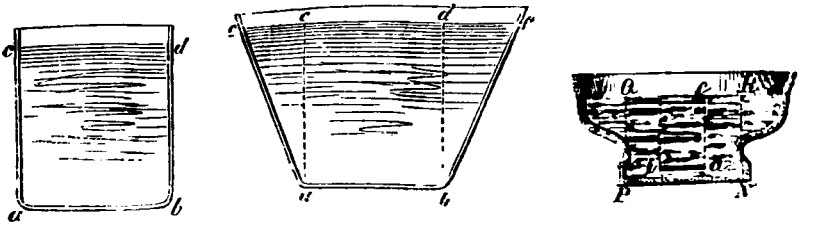


Фиг. 132.

Потомъ, навинчиваютъ на мѣсто верхней части сосуда M другую M', или M'' иной формы. Нижняя часть сосуда, а, слѣдовательно, и дно его остаются тѣ же. Снова наливаютъ воды до тѣхъ поръ пока дно BC не отстанетъ. Опытъ показываетъ, что, какой бы формы ни былъ сосудъ, высота жидкости въ это мгновеніе равна прежней, а отсюда выходитъ, что пластинка CB выдерживала во всѣхъ случаяхъ одно и то же давленіе.

Для объясненія этого закона, разсмотримъ сначала простѣйшій случай. Вообразимъ сосудъ $cabd$ (фиг. 133), съ горизонтальнымъ дномъ и вертикальными стѣнками, и нальемъ въ него вѣсомой жидкости до высоты cd. Раздѣлимъ мысленно столбъ $cabd$ на горизонтальные, весьма тонкіе слои. Верхній слой давитъ на второй, два верхніе—на третій, три верхніе—на четвертый и т. д., такъ что дно ab выдерживаетъ давленіе, равное вѣсу столба $abcd$. Въ то же время жидкость, стремясь, вслѣдствіе собственнаго вѣса, разлиться, производитъ давленіе на боковыя стѣнки сосуда по горизонтальному направ-

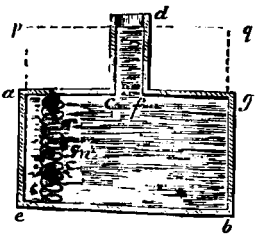
ленію. Въ сосудѣ *cabf* (фиг. 134) можно также представить себѣ вертикальный столбъ *cabd*, опирающійся на дно; онъ производитъ на дно *ab* давленіе, равное собственному вѣсу. Что касается жидкихъ массъ *cae* и *fbd*, то онѣ не



Фиг. 133. Фиг. 134. Фиг. 135.

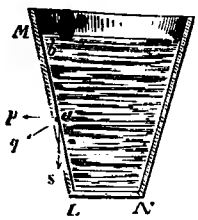
увеличиваютъ давленія на дно, потому что все ихъ дѣйствіе состоитъ только въ томъ, что онѣ препятствуютъ столбу *cabd* разлиться и такимъ образомъ замѣняютъ собою стѣнки сосуда *cabd* (фиг. 133). Вообразимъ теперь произвольнаго вида сосудъ (фиг. 135), наполненный жидкостью, и слой *ab* частицъ у самого дна. Этотъ слой будетъ сдавливаться только вѣсомъ стоящаго надъ нимъ столба *abc* жидкости; поэтому, частицы его будутъ сближены и, стараясь удалиться одна отъ другой, произведутъ давленіе на дно съ такою же силою, съ какою сами сдавливаются. Но въ одномъ и томъ же горизонтальномъ слоѣ частицы должны быть одинаково одна отъ другой удалены, потому что въ противномъ случаѣ какая либо частица испытывала бы съ двухъ сторонъ, по горизонтальному направленію, разное давленіе, что при равновѣсіи невозможно. Слѣдовательно, частицы по всему протяженію дна *PN* сосуда будутъ производить такое же давленіе на дно, какое оказываютъ частицы слоя *ab*; послѣднее же равно вѣсу столба *abc*. Итакъ, какую бы форму сосудъ ни имѣлъ, дно испытываетъ давленіе, равное вѣсу столба *PNQR*, котораго основаніе равно площади дна *PN*, а высота равна высотѣ *PQ* жидкости въ сосудѣ.

Законъ о давленіи жидкости на дно, повидимому, противорѣчитъ понятію о вѣсѣ; такое противорѣчіе думали найти въ томъ, что сосуды *A*, *B*, *C*. *D* (фиг. 131) содержатъ разныя количества жидкости, а потому и давленіе на дно должно быть разное: наибольшее—въ сосудѣ *B*, наименьшее—въ *C*. Чтобы разъяснить это кажущееся противорѣчіе, вообразимъ широкій сосудъ *ab* (фиг. 136), съ узкимъ цилиндрическимъ продолженіемъ *cd*. Тогда давленіе жидкости на дно будетъ равно вѣсу столба *bcpq*. Давленіе же, испытываемое чашкою вѣсовъ, когда мы поставимъ на нее сосудъ (не принимая во вниманіе вѣсъ сосуда), будетъ менѣе давленія на дно, потому что стѣнки *ac* и *gf* испытываютъ со стороны жидкости давленіе снизу вверхъ, равное вѣсу столбовъ жидкости *cp* и *fq*. Такимъ образомъ, на чашку вѣсовъ должна давить только жидкость *cg* и *cd*, что и въ самомъ дѣлѣ опытъ показываетъ. Пружина *m*, помѣщенная между стѣнками *ac* и *cb*, представила бы подобное явленіе; какъ бы ни было велико ея давленіе на эти стѣнки, давленіе на чашку вѣсовъ увеличилось бы только вѣсомъ пружины. — Пусть сосудъ

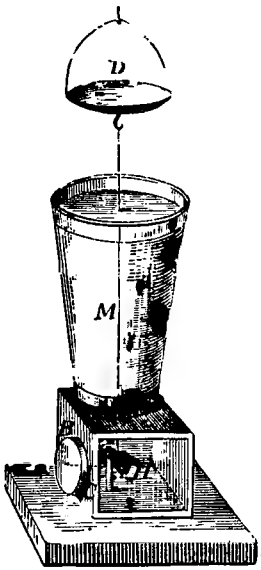


Фиг. 136.

имѣетъ форму MN (фиг. 137). Давленіе q, испытываемое какою нибудь точкой a стѣнки ML, должно быть къ стѣнкѣ перпендикулярно; это давленіе можно разложить, посредствомъ теоремы параллелограмма силъ, на двѣ силы: горизонтальную p и вертикальную s; первая не произведетъ на чашку вѣсовъ никакого дѣйствія, вторая же присоединится къ тому давленію, которое производитъ жидкость на дно и, слѣдовательно, на чашку; значитъ, давленіе жидкости на чашку вѣсовъ должно быть болѣе давленія на дно. Сдѣлавъ подобное разложеніе въ сосудѣ C (фиг. 131), вывели бы обратное заключеніе, потому что вертикальная слагающая s направлялась бы снизу вверхъ и уменьшила бы давленіе сосуда на чашку вѣсовъ. Въ сосудѣ D, съ вертикальными стѣнками, давленіе жидкости на дно равно ея вѣсу, потому что давленія ея на вертикальныя стѣнки сосуда горизонтальны и, слѣдовательно, не могутъ оказать вліянія на чашку вѣсовъ.



Фиг. 137.



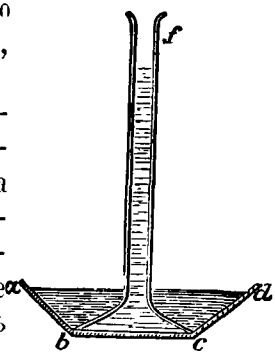
Фиг. 138.

Жидкость производитъ давленіе не только на дно сосуда, но и на боковыя стѣнки; для доказательства сосудъ M (фиг. 138) придѣлываютъ къ кубическому ящику H, одна сторона котораго имѣетъ круглое отверстіе, закрываемое пластинкой BC. Къ пластинкѣ прикрѣпленъ снурокъ, который обходитъ колесо p и привязанъ другимъ концомъ къ чашкѣ D вѣсовъ. Въ сосудъ M и ящикъ H наливаютъ воды; тогда пластинка BC будетъ испытывать давленіе; но если на другую чашку вѣсовъ положить достаточной величины гирю, то пластинка BC не отвалится. Продолжая наливать въ сосудъ M воду, мы достигнемъ, наконецъ, того, что пластинка BC откроетъ отверстіе, и вода станетъ выливаться.

Навинчивая вмѣсто сосуда M другіе, иной формы, и повторяя опытъ, можно убѣдиться, что боковое давленіе на какую либо площадь не зависитъ отъ формы сосуда и прямо пропорціонально разстоянію ея отъ уровня жидкости и плотности жидкости. Такимъ образомъ, давленіе на точку a (фиг. 137) болѣе давленія на точку b, потому что первая дальше отстоитъ отъ уровня M, нежели вторая.

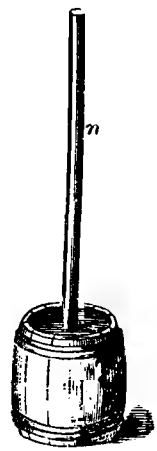
Изъ предыдущаго выходитъ, что незначительнымъ количествомъ вѣсомой жидкости можно произвесть огромное давленіе: стоитъ только взять высокій и узкій сосудъ съ широкимъ основаніемъ. Пусть наприм. въ сосудъ $abcd$ (фиг. 139), расширяющійся кверху, налито небольшое количество жидкости. Вообразимъ другой сосудъ bcf, имѣющій то же дно bc, что и первый, но кверху съуживающійся. Если въ этотъ послѣдній влить то же количество жидкости, то она займетъ гораздо бо́льшую высоту и произведетъ поэтому гораздо большее давленіе, чѣмъ въ сосудѣ $abcd$. Чтобы оправдать этотъ выводъ, Паскаль вдѣлалъ въ

дно бочки высокую трубку n (фиг. 140); наполнивъ бочку водою, онъ сталъ вливать ту же жидкость въ трубку n, но прежде, чѣмъ вода достигла вершины трубки, желѣзные обручи бочки полопались.



Фиг. 139.

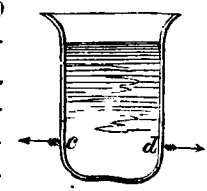
Примѣръ. Опредѣлить давленіе оливковаго масла на дно ab сосуда (фиг. 134), полагая, что высота жидкости равна 14 дюймамъ, а площадь дна—12 квадратн. дюйм. Чтобы рѣшить этотъ вопросъ, надо сначала найти объемъ вертикальнаго столба, у котораго основаніе равно 12 кв. д., а высота 14 д. Этотъ объемъ будетъ 168 кубич. д. Еслибы, вмѣсто масла, была взята вода, которая въ объемѣ одного кубич. дюйма вѣситъ 3,84 золотн., то давленіе на дно равнялось бы 3,84.168 или 645,12 золотн. Чтобы опредѣлить искомое давленіе, должно предыдущее число умножить на 0,915, удѣльный вѣсъ оливковаго масла; такимъ образомъ найдемъ 645,12.0,915 или приблизительно 590,3 золотника.



Фиг. 140.

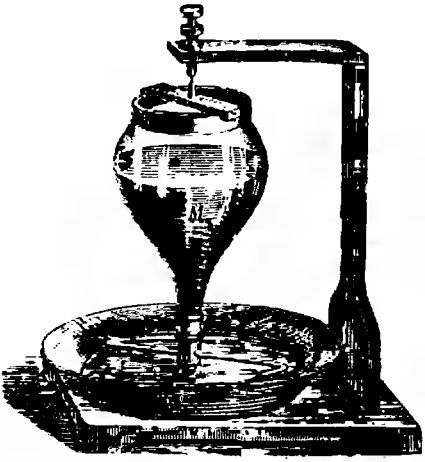
Пусть вообще дно сосуда имѣетъ a квадр. единицъ, а высота жидкости—b линейныхъ единицъ того же названія. Тогда объемъ жидкаго столба будетъ ab. Назвавъ чрезъ p вѣсъ одной кубической единицы воды, а чрезъ d плотность налитой въ сосудъ жидкости, найдемъ, что давленіе на дно равняется $abpd$. Если длина выражена въ сантиметрахъ, а вѣсъ въ граммахъ, то для давленія получимъ abd, потому что тогда $p=1$.

99. Сегнерово колесо. На давленіи вѣсомой жидкости основано устройство прибора, называемаго, по имени изобрѣтателя, колесомъ *Сегнера*. Если въ сосудѣ (фиг. 141) налита вода, то хотя стѣнки его испытываютъ давленіе, но сосудъ отъ того не придетъ въ движеніе, потому что давленію на какую либо точку c препятствуетъ давленіе жидкости на точку d, равное и прямопротивное. Но если въ точкѣ c сдѣлаемъ отверстіе, то вода станетъ вытекать, и давленіе въ этой точкѣ уничтожится, между тѣмъ какъ давленіе на d останется, вслѣдствіе чего сосудъ пришелъ бы въ движеніе, еслибы тому не препятствовало треніе дна сосуда о подставку, на которой онъ стоитъ. Вліяніе тренія значительно уменьшено въ сегнеровомъ колесѣ. Стеклянный сосудъ M (фиг. 142), свободно вращающійся около вертикальной оси, оканчивается въ нижней части мѣдной оправой съ двумя



Фиг. 141.

горизонтальными трубками, которыя загнуты въ одну сторону. Фиг. 143 изображаетъ горизонтальный разрѣзъ трубокъ. Если въ сосудъ налить воды, то жидкость будетъ вытекать чрезъ концы a и b трубокъ, а давленія на стѣнки n и k, лежащія противъ отверстій, заставятъ сосудъ M вращаться въ сторону, противоположную той, куда выливается вода.



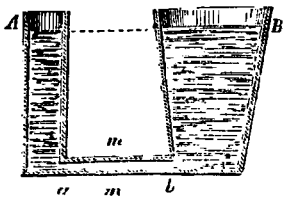
Фиг. 142.

100. Сообщающіеся сосуды. Изъ закона давленія вѣсомой жидкости [98] выводится условіе ея равновѣсія въ сосудахъ Aa и Bb (фиг. 144), сообщающихся каналомъ ab. Разсмотримъ вопервыхъ тотъ случай, когда оба сосуда содержатъ одну и ту же жидкость. Чтобы равновѣсіе было возможно, необходимо слѣдующее условіе: каждая частица жидкости должна испытывать равныя прямопротивныя и, слѣдовательно, взаимно уничтожающіяся давленія. Поэтому, частицы жидкости, лежащія на поперечномъ разрѣзѣ mm сообщающаго канала, должны выдерживать съ обѣихъ сторонъ отъ жидкихъ массъ Bb и Aa одинаковыя и прямопротивныя давленія; иначе, жидкость стала бы переливаться изъ сосуда Bb въ Aa, или наоборотъ. Но давленіе одной и той же жидкости зависитъ только отъ площади, на которую оно производится, и отъ высоты жидкости; а какъ площадь одна и та же, то и высоты должны быть равны. Итакъ, *однородная жидкость въ сообщающихся сосудахъ, для равновѣсія, должна стоять на одинаковыхъ высотахъ*, или, что все равно, уровни ея должны лежать на одной и той же горизонтальной плоскости.

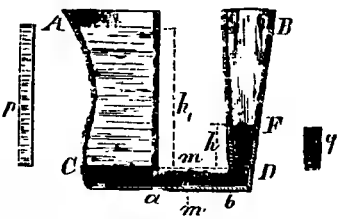
Фиг. 143.

Когда жидкости разнородны, то условіе равновѣсія ихъ будетъ другое. Пусть два сосуда Aa и Bb (фиг. 145), соединенные трубкою ab, содержатъ: одинъ Bb—ртуть до высоты D, а отъ D до F—масло, другой сосудъ Aa—также ртуть до C и потомъ отъ C до A—спиртъ. Чтобы ртуть, заключенная въ пространствѣ $CabD$, сама собою уравновѣшивалась, уровни ея C и D должны лежать на одной горизонтальной плоскости CD; части mD и mC произведутъ тогда на поперечный разрѣзъ mm канала ab съ обѣихъ сторонъ равныя давленія. На ту

же площадь будетъ еще давить отъ D къ m столбъ масла DF, а съ противной стороны, отъ C къ m, спиртъ AC; оба давленія должны быть равны, потому что тогда только и возможно равновѣсіе. Давленіе масла FD на площадь mm равно вѣсу столба масла q, у котораго основаніе равно площади mm, а высота равна высотѣ жидкости FD. Подобнымъ образомъ спиртъ AC производитъ на mm давленіе, равное вѣсу столба p, стоящаго на томъ же основаніи, какъ и столбъ q, и такой высоты какую имѣетъ жидкость AC. Но вѣсъ маслянаго столба q тогда только можетъ быть равенъ вѣсу спиртового столба p, когда вы-



Фиг. 144.



Фиг. 145.

сота перваго будетъ во столько разъ менѣе высоты второго, во сколько плотность масла болѣе плотности спирта, а потому, назвавъ плотности этихъ жидкостей соотвѣтственно чрезъ d и d_1, а высоты ихъ надъ уровнемъ CD — чрезъ h и h_1, найдемъ:

$$h : h_1 = d_1 : d,$$

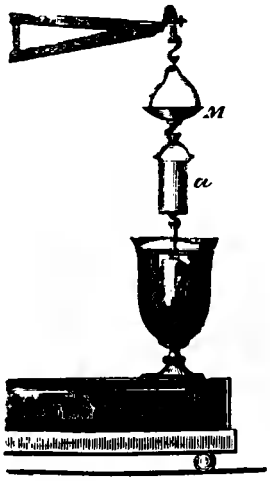
то есть *для равновѣсія, высоты разнородныхъ жидкостей въ сообщающихся сосудахъ должны быть обратно пропорціональны плотностямъ.* Этотъ законъ имѣетъ мѣсто не только въ томъ случаѣ, когда жидкости DF и AC раздѣлены ртутью CD, но и когда онѣ непосредственно соприкасаются; такъ, AC можетъ быть масло, а пространство CDF — наполнено водою; ртуть въ предыдущемъ опытѣ имѣетъ назначеніе отдѣлить другъ отъ друга жидкости, которыя при соприкосновеніи могли бы смѣшаться, каковы наприм. спиртъ и вода.

101. Законъ Архимеда. Жидкость производитъ давленіе не только на стѣнки и дно сосуда, въ который налита, но на всякое тѣло, въ нее погруженное, и при томъ со всѣхъ сторонъ. Чтобы доказать давленіе снизу вверхъ, берутъ трубку CD (фиг. 146); къ одному изъ открытыхъ концовъ ея прикладываютъ шлифованную пластинку p; поддерживаемую снуркомъ m, и погружаютъ трубку этимъ концомъ вертикально въ сосудъ AB съ водою. Послѣ того, снурокъ можно отпустить, и пластинка p не отпадетъ. Это могло произойти только отъ того, что пластинка испытываетъ снизу вверхъ давленіе, которое болѣе

собственнаго ея вѣса; если этотъ вѣсъ очень малъ, то въ трубку CD можно даже налить воды почти до уровня жидкости въ сосудѣ, и пластинка не отпадетъ.

Знаменитый сиракузскій геометръ Архимедъ, жившій въ III столѣтіи до Р. Х., доказалъ слѣдующій законъ: *тѣло, погруженное въ жидкость, испытываетъ снизу вверхъ давленіе, равное вѣсу вытѣсненной жидкости.* Этотъ законъ выражаютъ еще такъ: *тѣло, погруженное въ жидкость, теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ жидкость.* Если тѣло, вѣсомъ въ 5 килограммовъ, имѣетъ въ объемѣ одинъ кубическій дециметръ, то при погруженіи въ воду сдѣлается легче на столько, сколько вѣситъ кубическій дециметръ воды, то есть на одинъ килограммъ; поэтому, вѣсъ погруженнаго тѣла будетъ 4 килограмма.

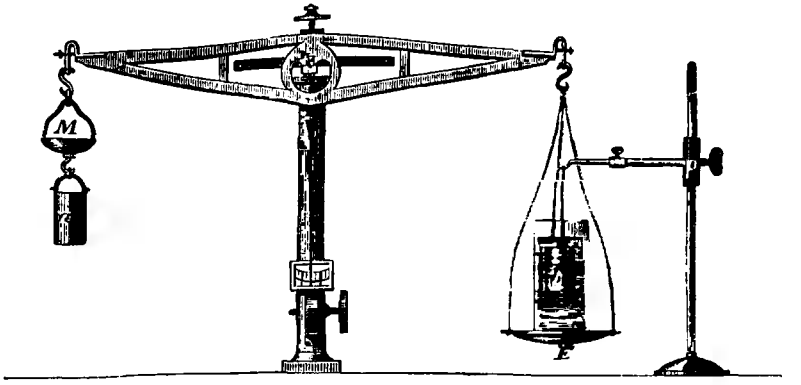
Законъ Архимеда доказывается посредствомъ *гидростатическихъ* вѣсовъ, которые отличаются отъ химическихъ только тѣмъ, что въ нихъ (фиг. 147), вмѣсто одной изъ чашекъ обыкновенной формы, берется чашка M того же вѣса, но на короткихъ цѣпочкахъ и съ крючкомъ внизу. Къ крючку привѣшиваютъ мѣдный сосудъ a, а къ этому —сплошной цилиндрикъ b, котораго объемъ равенъ емкости сосуда a, такъ что первый b какъ разъ помѣщается во второмъ a. Затѣмъ, на другую чашку кладутъ гири до тѣхъ поръ, пока не установится равновѣсіе. Если теперь подъ чашку M поставить сосудъ съ водою, такъ чтобы весь цилиндръ b былъ въ нее погруженъ, то равновѣсіе нарушится, и чашка M, вмѣстѣ съ сосудомъ a и тѣломъ b, подымутся; но если сосудъ a наполнить водою, то равновѣсіе возстановится. Слѣдовательно, цилиндрикъ b, при погруженіи въ воду, потерялъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ жидкость.



Фиг. 147.

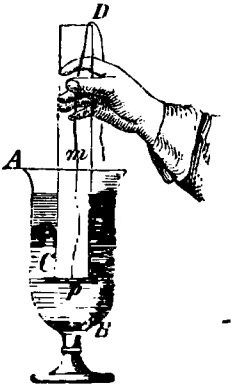
Тѣло, погруженное въ жидкость, испытывая давленіе, производитъ, въ свою очередь, такое же давленіе на самую жидкость, но по обратному направленію, то есть сверху внизъ. Для доказательства, ставятъ на одну чашку E (фиг. 148) стаканъ съ водою, а къ другой M привѣшиваютъ полый цилиндръ a и помощію гирь, положенныхъ на чашку M, приводятъ коромысло въ равновѣсіе. Потомъ, цилиндрикъ b, поддерживаемый станкомъ p, погружаютъ въ стаканъ. Тогда отъ давленія тѣла b на жидкость, чашка E опускается; но если объемъ цилиндрика b равенъ

емкости сосуда a, то для возстановленія равновѣсія стóитъ только наполнить водою сосудъ a. Слѣдовательно, давленіе на жидкость погруженнаго въ нее тѣла равно вѣсу вытѣсненной имъ жидкости.



Фиг. 148.

Законъ Архимеда обыкновенно объясняютъ такъ. Пусть жидкость въ сосудѣ AA (фиг. 149) находится въ покоѣ; равновѣсіе очевидно не нарушится, если мы мысленно отдѣлимъ часть $abcd$, или замѣнимъ эту часть твердымъ тѣломъ той же формы и того же вѣса. Такъ какъ тѣло $abcd$ не падаетъ, то, значитъ, жидкость давитъ на него снизу вверхъ съ силою, равною вѣсу жидкости того же объема. Если теперь, на мѣсто разсматриваемаго тѣла, помѣстимъ другое, болѣе плотное, но той же формы, то давленіе снизу вверхъ не измѣнится и, слѣдовательно, будетъ равно вѣсу жидкости, взятой въ томъ же объемѣ, какъ это тѣло.



Фиг. 146.

Иначе сказать: вѣсъ тѣла, погруженнаго въ жидкость, уменьшится на столько, сколько вѣситъ вытѣсненная жидкость; въ этомъ именно и заключается законъ Архимеда.

Слѣдующее объясненіе, хотя сложнѣе предыдущаго, яснѣе указываетъ причину явленія. Вообразимъ сосудъ MN (фиг. 150) съ жидкостью, въ которую погруженъ параллелепипедъ $abcd$ въ вертикальномъ положеніи. Это тѣло со всѣхъ сторонъ испытываетъ давленіе. Давленія на вертикальныя стѣнки ac и bd съ противоположныхъ сторонъ взаимно уничтожаются, какъ равныя. Остается разсмотрѣть только давленія на верхнее и нижнее основанія. Первое равно вѣсу столба жидкости $abfg$,

Фиг. 149.

*

котораго основаніе равно площади верхняго дна параллелепипеда, а высота—разстоянію этого дна отъ уровня жидкости въ сосудѣ. Давленіе на нижнее дно cd равно вѣсу вертикальнаго столба жидкости $cdfg$, котораго основаніе равно площади cd, а высота—разстоянію отъ этой площади до уровня. Первое изъ найденныхъ давленій направляется сверху внизъ, второе—въ противную сторону. При томъ второе болѣе перваго на столько, сколько вѣситъ жидкость, взятая въ объемѣ параллелепипеда. Итакъ, жидкость обнаруживаетъ на вертикальный параллелепипедъ, въ нее погруженный, давленіе, равное вѣсу этой жидкости, взятой въ объемѣ параллелепипеда.

Теперь не трудно объяснить законъ Архимеда и въ томъ случаѣ, когда погруженное тѣло имѣетъ какую угодно форму. Всякое тѣло можно представить себѣ разрѣзаннымъ на безконечно тонкіе вертикальные столбики, изъ которыхъ каждый будетъ имѣть видъ тѣла $abcdefgh$ (фиг. 151), съ боковъ ограниченнаго плоскостями, попарно параллельными: $adhe$ и $bcgf$, $dcgh$ и $abfe$. Перпендикулярно къ послѣднимъ проведемъ еще четыре плоскости ac_1, eg_1, ca_2 и ge_2, такъ чтобы получилось два параллелепипеда $a_2b_2cd_2e_2f_2gh_2$ и $ab_1c_1d_1ef_1g_1h_1$; у перваго изъ нихъ объемъ больше, чѣмъ у столбика $abcdefgh$, а у второго—меньше. Подобнымъ образомъ поступимъ со всѣми прочими столбиками, на которые раздѣлено тѣло. Сложивъ внѣшніе и внутренніе параллелепипеды, получимъ два объема M и m: первый больше погруженнаго тѣла, второй—меньше. Каждый параллелепипедъ теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсняемая имъ жидкость. Поэтому и тѣла M и m, какъ составленныя изъ параллелепипедовъ, испытываютъ потерю, равную вѣсу жидкости, взятой въ ихъ объемѣ. Уменьшая безгранично толщину параллелепипедовъ или, что то же, увеличивая число ихъ, найдемъ, что M все уменьшается, а m все увеличивается, но разность $M—m$, хотя и можетъ сдѣлаться менѣе всякой данной величины, однако же нуля никогда не достигнетъ. Слѣдовательно, объемъ даннаго тѣла есть предѣлъ уменьшенія M и увеличенія m. Назвавъ чрезъ X вѣсъ жидкости, вытѣсненной тѣломъ M, а чрезъ Y потерю въ вѣсѣ, испытываемую тѣмъ же тѣломъ, будемъ имѣть, что при всевозможныхъ измѣненіяхъ M

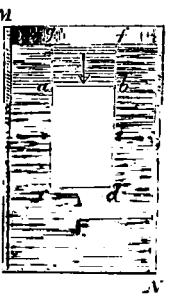
$$X = Y.$$

Фиг. 151.

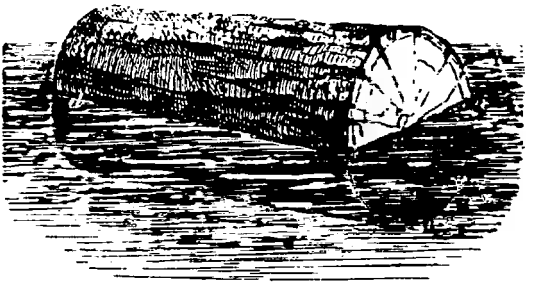
Замѣчая, что предѣлъ величины Y есть потеря въ вѣсѣ, испытываемая даннымъ тѣломъ, а предѣлъ количества X—вѣсъ вытѣсняемой жидкости, и основываясь на способѣ предѣловъ, излагаемомъ въ курсахъ математики, мы вправѣ заключить, что предыдущее равенство справедливо и на предѣлѣ, то есть уменьшеніе вѣса тѣла при погруженіи въ жидкость равно вѣсу вытѣсненной жидкости.

102. Приложенія. Тѣло, погруженное въ жидкость, находится подъ вліяніемъ двухъ силъ: собственнаго вѣса и давленія жидкости. Когда первая болѣе второй, то есть когда вѣсъ тѣла болѣе вѣса жидкости, взятой въ томъ же объемѣ, и когда, слѣдовательно, тѣло плотнѣе жидкости, то оно погружается, и тогда говорятъ, что тѣло *то-*

нетъ. Такъ, желѣзо тонетъ въ водѣ, платина—въ ртути. Если напротивъ вѣсъ тѣла менѣе вѣса жидкости того же объема, то тѣло не останется внутри жидкости, но подымется на ея поверхность; вмѣстѣ съ тѣмъ, уменьшится давленіе жидкости, и *равновѣсіе тогда только будетъ имѣть мѣсто, когда вѣсъ тѣла будетъ равенъ вѣсу вытѣсненной жидкости*. Такимъ образомъ, деревянный брусъ *and* (фиг. 152), опущенный въ воду, погружается до тѣхъ поръ, пока вѣсъ всего бруса не будетъ равенъ вѣсу жидкости, взятой въ объемѣ *mncd*. Въ такомъ положеніи тѣло называется *плавающимъ*. Желѣзо плаваетъ въ ртути, дерево въ водѣ. Отсюда объясняется плаваніе судовъ. Тутъ также необходимо, чтобы вѣсъ судна равнялся вѣсу вытѣсненной имъ воды; если наприм. судно вѣситъ 1000 пудовъ, то вѣсъ вытѣсненной имъ воды также равенъ 1000 пудамъ. При этомъ судно можетъ быть сдѣлано не только изъ дерева, или вообще вещества, которое легче воды, но также изъ вещества, болѣе плотнаго, напр. желѣза; конечно стѣнки не должны быть слишкомъ толсты, чтобы вѣсъ судна былъ значительно менѣе вѣса той воды, которую вытѣснило бы судно, погрузясь до борта.—Чѣмъ плавающее тѣло плотнѣе, тѣмъ болѣе оно въ жидкость погружается, потому что должно вытѣснить больше жидкости, чтобы вѣсъ вытѣсненной жидкости равнялся вѣсу тѣла. Отъ этого пробка, плавая на водѣ, погружается менѣе, чѣмъ обыкновенное дерево: по той же причинѣ нагруженныя суда глубже сидятъ въ водѣ, нежели ненагруженныя. Напротивъ, чѣмъ жидкость плотнѣе, тѣмъ тѣло погружается въ нее менѣе. Напримѣръ, дерево въ маслѣ опускается глубже, чѣмъ въ водѣ. Это обстоятельство принимаютъ во вниманіе при нагрузкѣ тѣхъ кораблей, которые должны входить въ устья рѣкъ, потому что морская вода, какъ извѣстно, значительно плотнѣе рѣчной.



Фиг. 150.

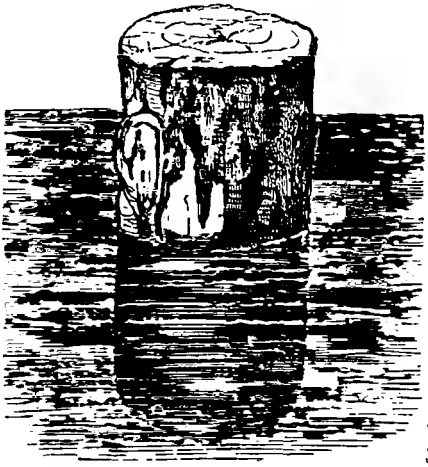

Фиг. 152.

Вѣсъ человѣка вообще отличается мало отъ вѣса воды, взятой въ его объемѣ. Но когда мы вдыхаемъ воздухъ, расширяя грудную полость, то увеличиваемся въ объемѣ, и вѣсъ воды, взятой въ объемѣ нашего тѣла, будетъ болѣе нашего собственнаго вѣса; иначе сказать: мы дѣлаемся

тогда легче воды. Обратно, выдыхая воздухъ, мы сокращаемся въ объемѣ и дѣлаемся тяжелѣе воды, вытѣсняемой нами. Искусство плаванія заключается въ томъ, чтобы удержать себя на поверхности воды въ то время, когда, чрезъ выдыханіе воздуха, мы дѣлаемся тяжелѣе воды.

Когда вѣсъ тѣла и вѣсъ вытѣсненной жидкости равны, то тѣло можетъ оставаться въ равновѣсіи внутри самой жидкости. Обыкновенное куриное яйцо тонетъ въ прѣсной водѣ и плаваетъ въ насыщенномъ растворѣ соли; можно приготовить растворъ такой густоты, что яйцо будетъ оставаться въ равновѣсіи, гдѣ бы мы его въ жидкости ни помѣстили. Масло также можетъ быть въ равновѣсіи въ смѣси изъ спирта и воды [96].

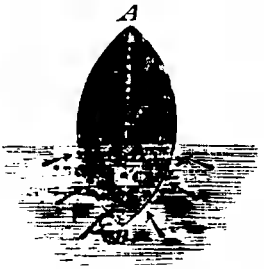
103. Условіе устойчивости равновѣсія плавающаго тѣла. Ежедневный опытъ учитъ, что плавающее тѣло можетъ не остаться въ покоѣ, хотя бы было соблюдено условіе плаванія, то есть равенство вѣса тѣла и вѣса вытѣсненной жидкости. Такое явленіе представляетъ напримѣръ брусъ (фиг. 153), погруженный вертикально въ воду. Очевидно, можно соблюсти условіе, чтобы вѣсъ бруса равнялся вѣсу жидкости, взятой въ объемѣ погруженной части тѣла; между тѣмъ каждый знаетъ, что брусъ въ показанномъ положеніи не останется, но опрокинется и ляжетъ горизонтально. На противъ, будучи выведенъ изъ горизонтальнаго положенія (фиг. 152), брусъ опять возвращается къ этому положенію, какъ скоро предоставленъ самому себѣ. Наконецъ, то же самое тѣло, будучи повернуто около горизонтальной оси (фиг. 152), не имѣетъ стремленія возвратиться назадъ. Такимъ образомъ, плавающее тѣло можетъ находиться: въ равновѣсіяхъ неустойчивомъ, устойчивомъ и безразличномъ [51]. Чѣмъ ниже центръ тяжести, тѣмъ тѣло плаваетъ устойчивѣе, т. е. тѣмъ до большей степени оно можетъ быть отклонено отъ положенія равновѣсія и все-таки, будучи предоставлено потомъ самому себѣ, возвращается въ это положеніе.



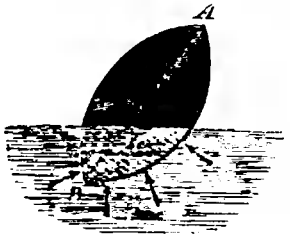
Фиг. 153.

Пусть въ жидкости плаваетъ тѣло AB (фиг. 154); тогда съ одной стороны дѣйствуютъ вѣсъ тѣла, приложенный къ центру его тяжести g, съ другой

давленія жидкости на каждую точку погруженной поверхности, показанныя на фигурѣ стрѣлками. Равнодѣйствующая всѣхъ этихъ давленій будетъ имѣть точку приложенія внутри погруженной части тѣла въ c и будетъ направляться снизу вверхъ. Точка c называется *центромъ давленія*. Для равновѣсія тѣла необходимо, чтобы вѣсъ тѣла равнялся равнодѣйствующей всѣхъ давленій, и чтобы точки приложенія этихъ силъ лежали на одной отвѣсной линіи AB. Отклонимъ теперь тѣло отъ этого положенія въ другое (фиг. 155), такъ чтобы линія AB, совпадавшая прежде съ отвѣснымъ направленіемъ, была наклонна къ горизонту. Тогда давленія жидкости на тѣло будутъ иныя, чѣмъ прежде, потому что форма самой погруженной поверхности будетъ теперь иная. Пусть точка приложенія равнодѣйствующей будетъ въ c. Проведемъ изъ этой точки отвѣсную линію до пересѣченія съ линіею AB въ точкѣ m. Точка m называется *метацентромъ*; перенесемъ въ нее точку приложенія равнодѣйствующей всѣхъ давленій. Такимъ образомъ, тѣло будетъ находиться подъ вліяніемъ двухъ силъ—собственнаго вѣса и давленія жидкости, которыя, какъ легко видѣть изъ фигуры, заставятъ тѣло еще болѣе отклониться отъ первоначальнаго положенія (фиг. 154).

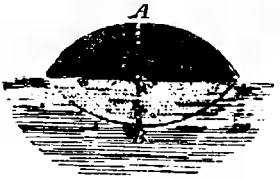


Фиг. 154.

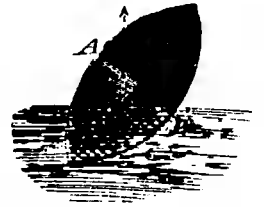


Фиг. 155.

Пусть то же тѣло находится въ другомъ положеніи равновѣсія (фиг. 156) и пусть g и c изображаютъ центръ тяжести и центръ давленія, лежащіе на отвѣсной линіи AB. Выведемъ тѣло изъ этого положенія, такъ чтобы линія AB, совпадавшая прежде съ отвѣсомъ, находилась бы теперь въ положеніи AB (фиг. 157); тогда центръ давленія передвинется въ нѣкоторую точку c. Проведя отвѣсную линію изъ c, получимъ въ m метацентръ, куда и перенесемъ точку приложенія равнодѣйствующей всѣхъ давленій. Не трудно видѣть изъ фигуры, что тѣло возвратится въ первоначальное положеніе равновѣсія (ф. 156).



Фиг. 156.



Фиг. 157.

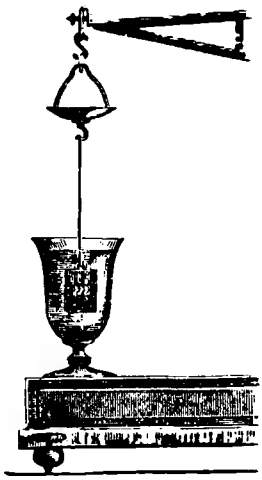
Изъ сказаннаго выходитъ: если метацентръ лежитъ выше центра тяжести, то тѣло находится въ равновѣсіи устойчивомъ; когда же онъ ниже, то равновѣсіе будетъ неустойчивое. Еслибы случилось, что при всякомъ положеніи тѣла центръ тяжести и центръ давленія лежатъ на одной отвѣсной линіи, то тѣло будетъ въ равновѣсіи безразличномъ; примѣромъ можетъ служить однородный шаръ, плавающій въ жидкости.

Хотя положеніе метацентра, а слѣдовательно, и условіе устойчивости плавающаго тѣла вообще могутъ быть опредѣлены только помощію высшаго анализа, однакожъ и сдѣланныхъ соображеній достаточно, чтобы вывести нѣко-

торыя полезныя заключенія. Если центръ тяжести лежитъ ниже центра давленія, то по бо́льшей причинѣ, онъ будетъ ниже метацентра, и, слѣдовательно, тѣло въ этомъ случаѣ будетъ плавать устойчиво, и тѣмъ устойчивѣе, чѣмъ центръ тяжести находится ниже, потому что тогда можно тѣло отклонить до бо́льшей степени, и оно все-таки возвратится въ первоначальное положеніе.

Такимъ образомъ, если къ бревну привязать ядро, то оно можетъ плавать отвѣсно; суда, въ нижней ихъ части, обременяютъ грузомъ, чтобы морскія волны и бури не могли ихъ опрокинуть.

104. **Удѣльный вѣсъ твердыхъ тѣлъ.** Для нахожденія удѣльнаго вѣса, надо вѣсъ тѣла раздѣлить на вѣсъ воды, взятой въ томъ же объемѣ. Кромѣ способа флакона [87, 89], существуетъ другой пріемъ, основанный на законѣ Архимеда, чтобы опредѣлить вѣсъ воды въ объемѣ того тѣла, котораго удѣльный вѣсъ нужно узнать.



Фиг. 158.

Къ крючку малой чашки гидростатическихъ вѣсовъ (фиг. 158) привѣшиваютъ на волоскѣ тѣло m изъ испытуемаго вещества, наприм. кусокъ стекла, и, накладывая гири на другую чашку, опредѣляютъ вѣсъ его. Затѣмъ, подставляютъ стаканъ съ водою, такъ чтобы тѣло совершенно погрузилось въ жидкость, и снова производятъ взвѣшиваніе. Пусть въ первомъ случаѣ стекло вѣсило 100 граммовъ, а во второмъ 60 грам. Уменьшеніе въ вѣсѣ, равное 40 граммамъ, выражаетъ, по закону Архимеда, вѣсъ воды, вытѣсненной стекломъ, или, что все равно, вѣсъ воды, взятой въ объемѣ стекла. Остается раздѣлить 100 грам. на 40 грам.; частное 2,5 представитъ искомую величину, т. е. удѣльный вѣсъ стекла.

Если вообще назовемъ вѣсъ тѣла въ пустотѣ чрезъ P, въ водѣ—чрезъ Q, то $P-Q$ представитъ потерю въ вѣсѣ; слѣдовательно, удѣльный вѣсъ выразится числомъ $\frac{P}{P-Q}$.

Способъ этотъ годится только для веществъ плотнѣе воды, потому что, въ противномъ случаѣ, испытуемое тѣло всплыветъ на поверхность жидкости и, слѣдовательно, не произведетъ давленія на чашку вѣсовъ; даже потребуется нѣкоторая сила, чтобы погрузить тѣло въ воду.

105. Удѣльный вѣсъ тѣла, котораго плотность менѣе плотности воды, напр. дерева, опредѣляется такъ. Дерево связываютъ съ такимъ кусомъ свинца, или другого какого либо плотнаго тѣла, чтобы оно могло тонуть въ водѣ, и производятъ взвѣшиванія: въ воздухѣ и водѣ.

Пусть дерево съ свинцомъ вѣсили въ воздухѣ 56 граммовъ, а одинъ свинецъ 48 гр.; значитъ, вѣсъ дерева будетъ 8 гр. Если одинъ свинецъ въ водѣ вѣсилъ 44 гр., то вмѣстѣ съ деревомъ будетъ вѣсить менѣе, напр. 40 гр., потому что дерево, стремясь всплыть, увлекаетъ за собою свинецъ. Разность 56 гр.—40 гр. или 16 гр., по закону Архимеда, равна вѣсу воды, взятой въ объемѣ дерева и свинца, а 48 гр. безъ 44 гр. или 4 гр.—вѣсу воды въ объемѣ одного свинца; а потому разность потерь вѣса въ обоихъ случаяхъ: 16 гр.—4 гр. или 12 гр. выразитъ вѣсъ воды въ объемѣ дерева. Слѣдовательно, удѣльный вѣсъ дерева $^8/_{12}$.

Пусть вообще вѣсъ дерева и свинца въ воздухѣ P, одного свинца p, вѣсъ свинца и дерева въ водѣ Q, одного свинца q. Тогда вѣсъ дерева въ воздухѣ будетъ $P-p$; потеря въ вѣсѣ свинца и дерева $P-Q$, потеря вѣса одного свинца $p-q$; поэтому, вѣсъ воды, взятой въ объемѣ дерева, будетъ $(P-Q)-(p-q)$ или $P-Q-p+q$. Слѣдовательно, искомый удѣльный вѣсъ выразится дробью

$$\frac{P-p}{P-p-Q+q}.$$

106. Удѣльный вѣсъ жидкостей. Для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей, поступаютъ такъ. Платиновый или полый стеклянный шарикъ, въ который налито нѣсколько ртути, чтобы онъ могъ тонуть въ водѣ и испытуемой жидкости, наприм. въ маслѣ, взвѣшиваютъ въ воздухѣ, въ маслѣ и въ водѣ, и пусть мы получили соотвѣтственно: 7 зол., 3 зол. и 2 зол. Такимъ образомъ, въ водѣ тѣло потеряло 5 зол., въ маслѣ 4; слѣдовательно, вѣсъ масла, взятаго въ объемѣ, равномъ объему шарика, равенъ 4 зол., а воды, въ томъ же объемѣ, 5 зол. Отсюда видимъ, что удѣльный вѣсъ масла равенъ частному отъ дѣленія 4 зол. на 5 зол., то есть числу $^4/_5$ или 0,8.

107. Поправки. На точность опредѣленія удѣльнаго вѣса оказываютъ вліяніе многія обстоятельства.

Чѣмъ выше температура испытуемаго вещества, тѣмъ плотность его менѣе [86], потому что при нагрѣваніи тѣла расширяются. Такъ какъ плотность тѣлъ сравниваютъ съ наибольшею плотностію воды, причемъ само тѣло должно имѣть температуру замерзанія воды, и какъ наблюденія производятся обыкновенно при другихъ условіяхъ, то надо знать, во сколько разъ плотность употребленной воды менѣе той, какую эта жидкость имѣетъ при 4°, и во сколько разъ плотность тѣла менѣе его плотности при 0°. Для этого составляются таблицы, изъ которыхъ можно вывести измѣненіе плотности веществъ съ возрастаніемъ температуры.

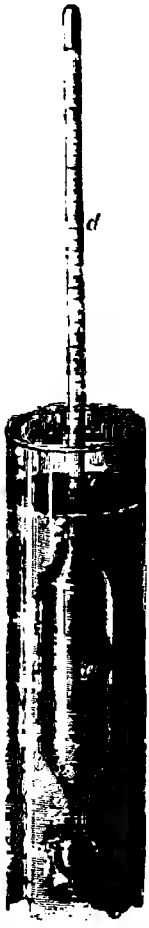
Наконецъ, при каждомъ взвѣшиваніи нужно принимать во вниманіе вѣсъ волоска, на которомъ привѣшивается тѣло.

Во всѣхъ случаяхъ взвѣшиванія въ воздухѣ, надо къ найденному вѣсу прибавить вѣсъ воздуха въ объемѣ взвѣшиваемаго тѣла, потому что законъ Архимеда имѣетъ примѣненіе не только къ жидкостямъ, но и къ газамъ, т. е. вся-

кое тѣло, находящееся въ воздухѣ, или другомъ газѣ, теряетъ въ своемъ вѣсѣ и теряетъ именно столько, сколько вѣситъ вытѣсняемый имъ газъ [124).

Способъ гидростатическихъ вѣсовъ для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ и жидкихъ тѣлъ даетъ результаты менѣе точные, чѣмъ способъ флакона. Это происходитъ отъ *вязкости* жидкостей, которая мѣшаетъ погруженному тѣлу свободно двигаться; въ самомъ дѣлѣ, когда тѣло, привѣшанное къ крючку одной чашки вѣсовъ, уравновѣшено гирями, поставленными на другую чашку, то можно на послѣднюю приложить, или снять небольшой грузъ, безъ нарушенія равновѣсія.

108. Ареометры съ постояннымъ вѣсомъ. Если растворить въ водѣ сахаръ, соль, спиртъ или что нибудь другое, то плотность ея измѣнится и тѣмъ въ большей степени, чѣмъ болѣе растворено вещества. Отсюда обратно, зная плотность раствора, можно судить о количествѣ растворенного вещества, что въ практикѣ имѣетъ весьма важное значеніе. Но какъ опредѣленіе удѣльнаго вѣса требуетъ много времени и навыка, то изобрѣли особые снаряды, называемые *ареометрами*, которые, хотя и не обладаютъ большою точностью, зато удобны въ практическомъ отношеніи. На фигурѣ 159 изображенъ ареометръ простѣйшаго устройства и весьма употребительный; онъ состоитъ изъ стекляннаго полаго тѣла *a*, къ которому сверху прикрѣплена шейка *bd*, а внизу шарикъ *c*, наполненный ртутью или дробью такого вѣса, чтобы приборъ могъ плавать въ жидкости устойчиво, въ отвѣсномъ положеніи [103]. Плотность жидкости узнается потому, какъ глубоко приборъ погружается; для этого на шейкѣ дѣлаются дѣленія. Чаще всего употребляется ареометръ, служащій для опредѣленія количества спирта въ водѣ и называемый *спиртомѣромъ*. Дѣленія на шейкѣ разставляются такъ. Ареометръ опускаютъ въ чистую воду; пусть онъ погрузился до черты *b*; здѣсь ставятъ нуль. Потомъ, приготовляютъ смѣсь изъ спирта и воды въ разныхъ пропорціяхъ, но такимъ образомъ, чтобы число частей обѣихъ жидкостей было всегда 100; пусть напримѣръ, будетъ 80 частей по объему воды и 20 частей спирта. Такъ какъ спиртъ, будучи примѣшанъ къ водѣ, уменьшаетъ ея плотность, то ареометръ долженъ погрузиться ниже, наприм. до черты *d*, на которой ставятъ 20. Подобнымъ образомъ можно означить на шейкѣ и другія числа, показывающія количество спирта въ водѣ. Эти числа пишутся на бумажкѣ, которую вкладываютъ въ трубку. Спиртъ



Фиг. 159.

и воду при смѣшеніи можно брать и по вѣсу, и по объему. Въ Россіи преимущественно употребляется спиртомѣръ Траллеса, обозначающій проценты спирта по объему; если, будучи опущенъ въ смѣсь, онъ останавливается напр. на 27, то это значитъ, что жидкость содержитъ 27 объемовъ спирта, а остальное до 100, то есть 73,—воды.

На показаніе спиртомѣра имѣетъ большое вліяніе температура; чѣмъ она выше, тѣмъ жидкость будетъ менѣе плотна, тѣмъ ареометръ болѣе погрузится и тѣмъ большее количество спирта покажетъ. Обыкновенно спиртомѣръ устраиваютъ такъ, чтобы показанія его были вѣрны при обыкновенной температурѣ $12^1/_2{}^0$ (*P*); для всякой же другой температуры нужно составить таблицы поправокъ.

Иногда шарикъ прибора, наполненный ртутью, служитъ резервуаромъ термометру, котораго дѣленія означаютъ не градусы температуры, а проценты спирта. Если ртуть стоитъ противъ черты, соотвѣтствующей $12^1/_2{}^0$ (*P*), то показанія спиртомѣра поправлять не нужно; когда ртуть будетъ выше, то число дѣленій, на которое она поднялась, должно вычесть изъ числа, прочитаннаго на шейкѣ ареометра; наконецъ, когда температура будетъ ниже $12^1/_2{}^0$ (*P*), то къ числу процентовъ спирта, показываемыхъ спиртомѣромъ, надо придать число дѣленій, на которыя ртуть опустилась.

Подобнымъ образомъ можно устроить ареометры для другихъ растворовъ: поташа, селитры, сахара и проч.; для опредѣленія качества разнаго рода винъ, пива и проч. Ареометръ для молока называется *лактометромъ*.

109. Для измѣренія плотности всякихъ вообще жидкостей, употребляются преимущественно ареометры Боме. Они бываютъ двухъ родовъ: для жидкостей болѣе и менѣе плотныхъ, чѣмъ вода.

Ареометръ перваго рода долженъ опускаться въ чистой водѣ до вершины шейки, гдѣ ставятъ 0. Потомъ, приготовляютъ растворъ изъ 15 частей поваренной соли въ 85 частяхъ воды. Будучи погруженъ въ такую жидкость, ареометръ опустится не такъ глубоко, какъ въ водѣ; на томъ мѣстѣ шейки, гдѣ уровень жидкости остановится, пишутъ 15. Пространство между обозначенными точками дѣлятъ на 15 равныхъ частей и продолжаютъ дѣленіе внизъ. Этотъ ареометръ въ сгущенномъ растворѣ сѣрной кислоты показываетъ 66, а въ азотной 36.

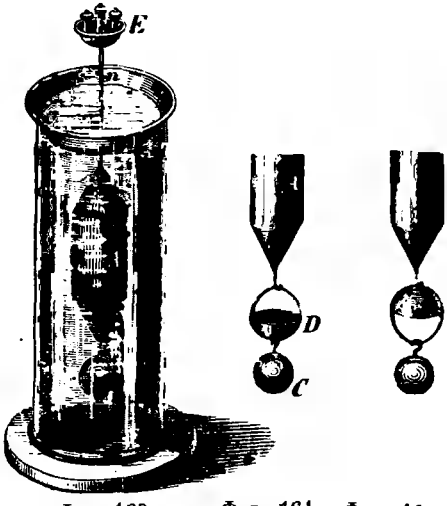
Ареометръ для жидкостей, которыхъ плотность менѣе плотности воды, долженъ погружаться до основанія шейки въ растворѣ, состоящемъ изъ 10 частей поваренной соли и 90 частей воды; здѣсь пишутъ 0. Потомъ, его погружаютъ въ чистую воду и на шейкѣ, противъ уровня жидкости, ставятъ 10. Пространство между найденными точками дѣлятъ на 10 равныхъ частей и продолжаютъ дѣленія вверхъ. Этотъ ареометръ въ абсолютномъ спиртѣ показываетъ 45, въ сѣрномъ эфирѣ 63.

Иногда устраиваютъ ареометры для опредѣленія удѣльнаго вѣса жидкостей. Сначала ареометръ опускаютъ въ чистую воду и на томъ мѣстѣ шейки, гдѣ жидкость остановится, пишутъ 1, то есть удѣльный вѣсъ воды. Потомъ, по-

гружаютъ въ разныя жидкости, которыхъ плотность предварительно была опредѣлена, и на шейкѣ ареометра пишутъ соотвѣтственные удѣльные вѣса. Когда ареометръ, такимъ образомъ приготовленный, будетъ опущенъ въ какую нибудь жидкость, то непосредственно на шкалѣ прочтемъ ея удѣльный вѣсъ.

Ареометры описаннаго устройства называются *ареометрами съ постояннымъ вѣсомъ*, въ отличіе отъ *ареометровъ съ постояннымъ объемомъ*—приборовъ болѣе точныхъ, хотя и менѣе удобныхъ.

110. Ареометры съ постояннымъ объемомъ. Ареометръ съ постояннымъ объемомъ отличается отъ ареометра съ постояннымъ вѣсомъ тѣмъ, что къ шейкѣ его n (фиг. 160) придѣлывается чашка E, на которую можно класть гири. Онъ приготовляется изъ стекла, или металла. Ареометръ устраивается такъ, что отъ прибавленія нѣкотораго груза на чашку E онъ погружается въ водѣ до замѣтки n, сдѣланной на шейкѣ. Пусть вѣсъ ареометра равенъ 183 граммамъ, а прибавочнаго груза 17 гр.; тогда, на основаніи закона Архимеда [102], вѣсъ воды, вытѣсненной ареометромъ, будетъ 200 гр. Затѣмъ, снявъ грузъ 17, опускаютъ приборъ въ другую жидкость, напр. масло. Если нужно было прибавить 2 гр., чтобы ареометръ снова погрузился до замѣтки n, то вѣсъ масла, взятаго въ объемѣ погруженной части ареометра, будетъ $183+2=185$ гр., а удѣльный вѣсъ $^{185}/_{200}=0,925$.—Тотъ же приборъ, въ измѣненномъ нѣсколько видѣ, можетъ служить для опредѣленія удѣльнаго вѣса твердыхъ тѣлъ; видоизмѣненіе заключается въ томъ, что къ тѣлу A снизу привѣшиваютъ чашку D (фиг. 161), а къ послѣдней — шарикъ C. Ареометръ погружаютъ въ чистой водѣ до замѣтки n (фиг. 160) чрезъ прибавленіе на чашку E нѣкотораго груза, напр. 17 гр., который потомъ снимаютъ, а, на мѣсто его, кладутъ тѣло, котораго плотность желаютъ опредѣлить. Вѣсъ этого тѣла долженъ быть менѣе прибавочной гири 17 гр.; поэтому, ареометръ изъ жидкости выдвинется. Чтобы погрузить его до той же черты n, пусть надо прибавить 1 гр.; тогда вѣсъ испытуемаго тѣла будетъ 17 гр.—1 гр. или 16 гр. Если теперь переложимъ тѣло на нижнюю чашку D (фиг. 161) ареометра, то оно потеряетъ въ своемъ вѣсѣ, и ареометръ снова выдвинется изъ жидкости. Положимъ, что, для приведенія его въ первоначальное положеніе, нужно приложить еще на верхнюю чашку 5 гр.; это число, по закону Архимеда, выразитъ вѣсъ воды, взятой въ объемѣ испытуемаго тѣла, котораго удѣльный вѣсъ, слѣдовательно, будетъ равенъ $^{16}/_{5}$ или 3,2.



Фиг. 160. Фиг. 161. Фиг. 162.

Назовемъ вообще чрезъ p прибавочный грузъ, который нужно положить на верхнюю чашку, чтобы погрузить одинъ ареометръ до черты n, а чрезъ q вѣсъ той гири, которая вмѣстѣ съ тѣломъ, положеннымъ на верхнюю чашку.

заставляетъ совпадать ту же черту съ уровнемъ воды; чрезъ r обозначимъ вѣсъ гирь на чашкѣ E, когда тѣло перемѣщено на нижнюю чашку. Тогда удѣльный вѣсъ выразится чрезъ $\frac{p-q}{r-q}$, потому что $p-q$ есть вѣсъ тѣла, а $r-q$ уменьшеніе вѣса тѣла при погруженіи его въ жидкость.

Если плотность тѣла менѣе плотности воды, то чашку перевертываютъ (фиг. 162) и тѣло подводятъ подъ эту чашку; во всемъ остальномъ поступаютъ подобно предыдущему.

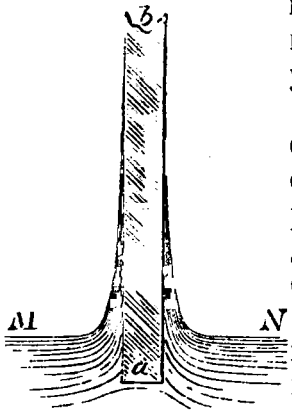
Опредѣлить давленіе ртути на дно сосуда, полагая, что площадь дна равна 20 квадр. дюймамъ, а высота жидкости=16 дюймамъ.—Кусокъ желѣза, погруженный въ спиртъ, теряетъ въ своемъ вѣсѣ 1 фунтъ; найти объемъ этого куска.—Одинаковыя или разныя потери въ вѣсѣ испытываетъ тѣло при погруженіи въ жидкость на разныя глубины?—Нѣкоторое тѣло, погруженное въ воду, потеряло 6 фунтовъ въ вѣсѣ; сколько оно потеряетъ въ алкоголѣ?—На одну чашку вѣсовъ поставили сосудъ съ масломъ и уравновѣсили его гирями, положенными на другую чашку; если погрузимъ палецъ въ масло, не касаясь стѣнокъ сосуда, не произойдетъ ли нарушеніе равновѣсія? если произойдетъ, то какого вѣса гирю надо положить на чашку для возстановленія равновѣсія?—Какъ велико давленіе на одинъ квадратный футъ морскаго дна на глубинѣ 25000 футовъ?—На чашку огромныхъ вѣсовъ помѣстили человѣка и чанъ съ водой и уравновѣсили гирями, положенными на другую чашку; произойдетъ ли нарушеніе равновѣсія, если человѣкъ опустится въ чанъ, предполагая, что вода не перельется чрезъ края чана?—Въ сосудъ формы B (фиг. 131) налили три жидкости: ртуть на 20^{mm} высоты, потомъ воду на 30^{mm} и, наконецъ, масло на 100^{mm}; какъ велико давленіе на дно, если величина его равна 1 квадр. сантиметру?—Почему законъ Паскаля о передачѣ давленія оправдывается для сыпучихъ тѣлъ только отчасти, то-есть давленіе передается, но неравномѣрно?—На равноплечемъ рычагѣ привѣсили равнаго вѣса гири: свинцовую и желѣзную; рычагъ, естественно, будетъ въ равновѣсіи; нарушится ли равновѣсіе, если рычагъ вмѣстѣ съ гирями погрузить въ воду?—Пусть одна изъ боковыхъ стѣнокъ сосуда, наполненнаго жидкостью, есть плоская фигура; что лежитъ выше: центръ ли ея тяжести или центръ давленія?—Какъ велика сила, съ которою пластинка p (фиг. 146) придавливается къ отверстію трубки CD?—Какой грузъ можетъ выдержать плотъ изъ 40 бревенъ, если длина бревна 4 сажени, діаметръ 10 дюйм., удѣльный вѣсъ 0,8?—Если человѣкъ 64 килограммовъ вѣсу войдетъ въ лодку, то на сколько увеличится ея водоизмѣщеніе?—Составить двѣ шкалы для спиртомѣра: по объему и по вѣсу, не принимая во вниманіе измѣненія температуры, при смѣшеніи спирта съ водою, и сокращенія объема.—На невѣсомые поршни m и n (фиг. 126) положены гири въ 24 и 16 килограм.; поверхности поршней 4,8 и 3,2 квадр. сантим.; будутъ-ли поршни въ равновѣсіи? Треніе поршней о стѣнки пренебрегается.—Какъ опредѣлить объемъ части нѣкотораго тѣла, наприм. черенка ножа?—Указать пріемъ, помощію котораго можно было бы узнать, въ какомъ случаѣ кисть нашей руки занимаетъ большій объемъ: когда она сжата въ кулакъ, или когда пальцы ея распрямлены?

Явленія, зависящія отъ сцѣпленія частицъ жидкости между собою и съ частицами твердыхъ тѣлъ.

111. Смачиваніе. Если стеклянную палочку, очищенную отъ жирныхъ веществъ, погрузимъ въ воду и тотчасъ вынемъ назадъ, то на палочкѣ останется капля жидкости; напротивъ, къ стеклянной палочкѣ, покрытой жиромъ, вода не пристаетъ. Подобнымъ образомъ можно убѣдиться, что капля ртути прилипаетъ къ цинку и не прилипаетъ къ стеклу. Если твердое тѣло способно поднять изъ жидкости каплю, то говорятъ, что оно *смачивается* этою жидкостью, а въ про-

тивномъ случаѣ—*не смачивается*. Такъ, ртуть смачиваетъ цинкъ и не смачиваетъ стекла, желѣза; вода смачиваетъ стекло, дерево и не смачиваетъ жирныхъ веществъ. Чтобы объяснить это явленіе, надо допустить, что, въ случаѣ смачиванія, взаимное притяженіе частицъ жидкости менѣе притяженія ихъ съ частицами твердаго тѣла; въ случаѣ несмачиванія—наоборотъ: притяженіе частицъ жидкости между собою болѣе притяженія частицъ жидкости къ твердому тѣлу.

Явленія смачиванія тогда только обнаруживаются во всей силѣ, когда погруженныя твердыя тѣла очищены отъ постороннихъ веществъ. Впрочемъ, если нечистоты растворимы, то, послѣ болѣе или менѣе продолжительнаго пребыванія въ жидкости, тѣло будетъ наконецъ смочено. Такъ, стеклянная палочка, не вполнѣ очищенная отъ жирныхъ веществъ, не смачивается водою, но, находясь долго въ этой жидкости, наконецъ освобождается отъ жира, который нѣсколько растворимъ въ водѣ, и послѣ того уже смачивается.



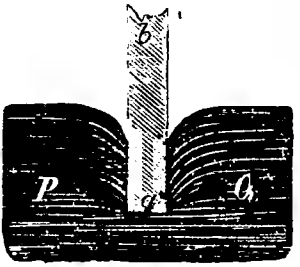
Фиг. 163.

Если на горизонтальную стеклянную пластинку налить каплю какой либо смачивающей стекло жидкости, напр. спирту, то жидкость расплывется по поверхности пластинки въ видѣ весьма тонкаго слоя. Подобное явленіе представляютъ и другія жидкости. Въ случаѣ воды, необходимо, чтобы пластинка была тщательно вычищена. Распространеніе жидкостей по поверхности твердаго тѣла должно быть наиболѣе замѣтно у тѣхъ жидкостей, въ которыхъ сцѣпленіе между частицами слабо, а притяженіе къ твердому тѣлу велико. Если стеклянную пластинку *ab* (фиг. 163) опустить въ спиртъ, воду и проч., то также замѣтимъ, что жидкость расплывается по обѣимъ сторонамъ пластинки, возвышаясь надъ уровнемъ *MN*. Поднятіе жидкости бываетъ иногда довольно большое и было бы чрезвычайно велико, если бы пластинка была абсолютно чиста, что на практикѣ невыполнимо. Толщина слоевъ, облегающихъ пластинку, увеличивается книзу, вслѣдствіе тяжести. Чѣмъ менѣе сцѣпленіе частицъ жидкости, чѣмъ болѣе притяженіе ихъ къ твердому тѣлу и чѣмъ менѣе плотность жидкости, тѣмъ поднятіе болѣе. Обыкновенно, по причинѣ нечистотъ, покрывающихъ твердое тѣло наблюдается незначительное возвышеніе. Такъ, въ стеклянномъ сосудѣ вода (фиг. 164) подымается у краевъ весьма мало.

Фиг. 164.

Если на горизонтальную стеклянную пластинку налить каплю ртути, которая стекла не смачиваетъ, то, повинуясь болѣе сцѣпленію собственныхъ частицъ, нежели притяженію къ пластинкѣ, жидкость принимаетъ форму, тѣмъ болѣе подходящую къ шару, чѣмъ капля меньше.

Если стеклянная пластинка ab (фиг. 165) погружена во ртуть PQ, то частицы жидкости, лежащія вблизи пластинки ab, притягиваясь болѣе къ массамъ P и Q, нежели къ ab, отступаютъ отъ пластинки ab и уровня жидкости, образуя выпуклую поверхность. Подобное явленіе наблюдается въ сосудѣ (фиг. 166), въ который налита жидкость, не смачивающая стѣнокъ: уровень жидкости у стѣнокъ понижается.

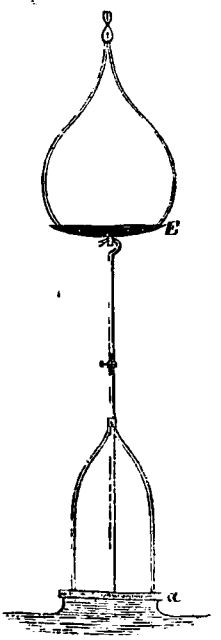


Фиг. 165.

Фиг. 166.

112. Сила сцѣпленія въ жидкостяхъ. Сила сцѣпленія у разныхъ жидкостей различна. Для доказательства къ чашкѣ вѣсовъ E (фиг. 167) привѣшиваютъ стеклянную круглую пластинку a и уравновѣшиваютъ ее грузомъ, положеннымъ на другую чашку. Потомъ, нижнюю поверхность пластинки приводятъ въ соприкосновеніе съ водою; тогда потребуется положить на другую чашку вѣсовъ грузъ весьма значительный, чтобы оторвать кружокъ a отъ жидкости.

При этомъ замѣчается, что вмѣстѣ съ кружкомъ увлекается небольшой высоты столбъ жидкости (какъ это показано на фигурѣ). Когда, наконецъ, кружокъ a отрывается отъ жидкости, то поднятый столбъ разрывается, такъ что на пластинкѣ остается прилипшимъ слой жидкости. Отсюда выходитъ, что грузъ, положенный на другую чашку вѣсовъ, показываетъ не взаимное притяженіе жидкости съ твердымъ тѣломъ, а взаимное притяженіе частицъ самой жидкости, и въ самомъ дѣлѣ величина этого груза не зависитъ отъ толщины и вещества кружка, если онъ жидкостью смачивается, а только отъ рода жидкости.



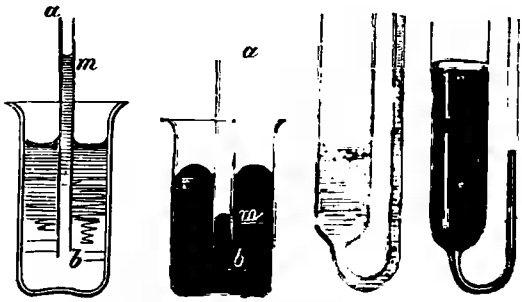
Фиг. 167.

Если сцѣпленіе частицъ воды принять за единицу, то сцѣпленіе другихъ жидкостей выразится слѣдующими числами:

Вода	1	Алкоголь	0,40
Азотная кислота	0,75	Уксусная кислота	0,37
Глицеринъ	0,72	Сѣрный эфиръ	0,33
Ртуть	0,44		

Съ возвышеніемъ температуры, сцѣпленіе въ жидкостяхъ уменьшается.

113. Волосность. Если очень тонкую стеклянную трубку *ab* (фиг. 168) опустить въ сосудъ съ жидкостью, которая стекло смачиваетъ, напр. съ водою, то послѣдняя подымется въ трубкѣ до точки *m*, лежащей выше уровня жидкости въ сосудѣ; напротивъ, опустивъ стеклянную же трубку *ab* въ сосудъ (фиг. 169) со ртутью, которая стекла не смачиваетъ, увидимъ, что жидкость станетъ у точки *m*, ниже уровня ртути въ сосудѣ. Это явленіе называется *волосностью* или *капиллярностью*, потому что замѣчается въ трубкахъ, которыя иногда тоньше человѣческаго волоса. Если одинъ изъ сообщающихся сосудовъ весьма узокъ, а другой довольно широкъ, то жидкость стоитъ въ обоихъ на разныхъ высотахъ; когда стѣнки ихъ смачиваются, то (фиг. 170) уровень жидкости стоитъ ниже въ широкомъ сосудѣ, когда же онѣ не смачиваются — въ узкомъ (фиг. 171).



Фиг. 168. Фиг. 169. Фиг. 170. Фиг. 171.

Высота столбика жидкости, стоящаго надъ уровнемъ ея въ сосудѣ, обратно пропорціональна діаметру трубки. Въ стеклянной трубкѣ съ діаметромъ въ 1^{mm} вода подымается на высоту 29^{mm}, 9; слѣдовательно, когда діаметръ равенъ 0^{mm}, 1, то есть въ 10 разъ менѣе, эта высота будетъ 299^{mm}. Если *жидкость не смачиваетъ вещества трубки, то наблюдается тотъ же законъ*, съ тою только разницею, что тогда будетъ, какъ уже замѣчено ранѣе, не повышеніе, а пониженіе жидкости.

Величина волосности зависитъ отъ вещества жидкости. Въ стеклянной трубкѣ, которой внутренній діаметръ равенъ 1^{mm}, возвышеніе уровня для воды 29^{mm}, 9, для спирта 12^{mm}, 7, для терпентиннаго масла 10^{mm}, 4.

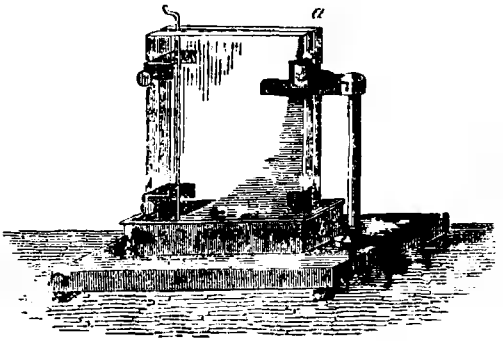
Если стѣнки трубки смачиваются жидкостью, то волосность не зависитъ отъ вещества трубки; одна и та же жидкость

въ смачиваемыхъ трубкахъ изъ разныхъ веществъ, съ каналами равной толщины, подымается на одинаковую высоту.

Когда жидкость не смачиваетъ трубки, то величина волосности зависитъ отъ вещества трубки; такъ, въ желѣзной трубкѣ, толщиною въ 1^{mm}, ртуть понижается на 1^{mm}, 2, а въ платиновой той же толщины—на 0^{mm}, 6.

Двѣ сближенныя между собою пластинки *a* и *b* (фиг. 172), будучи опущены въ жидкость, представляютъ явленіе, подобное волоснымъ трубкамъ: жидкость подымается или опускается, смотря по тому, смачивается или нѣтъ вещество пластинокъ; при этомъ возвышеніе или пониженіе вдвое менѣе, чѣмъ въ волосной трубкѣ. которой діаметръ равенъ разстоянію между пластинками.

Фиг. 172.



Фиг. 173.

Опустимъ немного въ воду двѣ стеклянныя пластинки (фиг. 173), вращающіяся на шарнирѣ и образующія небольшой уголъ, такъ чтобы ребро *ab* было перпендикулярно къ поверхности воды. Тогда жидкость подымается у вершины угла выше, нежели у отверстія, потому что разстояніе между частицами пластинокъ тѣмъ менѣе, чѣмъ ближе эти частицы къ оси *ab*. Отъ этого уровень воды образуетъ внутри угла кривую линію, выпуклую къ горизонту.

Наконецъ, замѣтимъ, что волосность зависитъ отъ температуры: съ возвышеніемъ температуры, высота столбика жидкости въ смачиваемыхъ трубкахъ уменьшается, при нѣкоторой температурѣ волосность дѣлается нулемъ, а затѣмъ жидкость перестаетъ смачивать стѣнки трубки и становится ниже уровня въ широкомъ сосудѣ.

Явленія волосности имѣютъ тѣсную связь съ явленіями смачиванія и сцѣпленія.

Если вещество трубки смачивается жидкостью, то стѣнки волосного канала покрываются тонкимъ слоемъ жидкости. Такимъ образомъ получается узкая жидкая трубка, внутри волосного канала, съ чрезвычайно тонкими стѣнками. Частицы этой трубки обнаруживаютъ притяженіе на жидкость и заставляютъ ее подыматься въ видѣ сплошного столбика. Значитъ, смачиваніе предшествуетъ поднятію волосного стол-

бика. Если стѣнки волосной трубки не достаточно чисты и потому не смачиваются, то явленій волосности не бываетъ. Тогда надо искусственно поднять жидкость въ трубкѣ, втягивая ее, напр., ртомъ, или нѣсколько разъ погрузить трубку въ жидкость, пока стѣнки не освободятся отъ нечистоты. Такъ какъ сила, заставляющая подыматься волосной столбикъ жидкости, есть ничто иное, какъ взаимное притяженіе частицъ жидкости, то высота волосного столбика: 1) не зависитъ отъ вещества трубки и 2) пропорціональна сцѣпленію частицъ жидкости, между тѣмъ, какъ смачиваніе тѣмъ сильнѣе, чѣмъ сцѣпленіе частицъ жидкости менѣе. Съ возвышеніемъ температуры, сцѣпленіе уменьшается, а вмѣстѣ съ тѣмъ и волосность.

Назовемъ чрезъ a діаметръ поднятаго столбика жидкости, чрезъ h—его высоту, чрезъ q—вѣсъ кубической единицы воды и чрезъ d—удѣльный вѣсъ жидкости; тогда вѣсъ жидкаго поднятаго столбика будетъ $^1/_4\pi a^2hqd$. Вслѣдствіе смачиванія, стѣнки волосного канала покрываются тонкимъ слоемъ жидкости. Притяженіе этого слоя на подымаемый волосной столбикъ будетъ пропорціонально окружности канала и сцѣпленію частицъ жидкости, которое обозначимъ чрезъ e. Такимъ образомъ, подымающая сила выразится чрезъ $Na\pi.e$, гдѣ N—нѣкоторое постоянное число. Для равновѣсія необходимо равенство:

$$\tfrac{1}{4}\pi a^2hqd = N\pi ae,$$

откуда

$$h = \frac{4Ne}{aqd} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (x)$$

Изъ этого уравненія выходитъ, что высота волосного столбика h обратно пропорціональна его діаметру и плотности жидкости и прямо пропорціональна сцѣпленію жидкости.

Назовемъ чрезъ a разстояніе между двумя пластинками (фиг. 172), опущенными въ смачивающую ихъ жидкость, чрезъ l—ширину ихъ, чрезъ h—высоту поднятаго слоя жидкости. Тогда вѣсъ послѣдняго выразится чрезъ $alhqd$. Притяженіе на поднимаемый слой будетъ равно $N.2le$. Для равновѣсія необходимо равенство:

$$alhqd = N.2le,$$

откуда

$$h = \frac{2Ne}{aqd} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (y)$$

Изъ равенствъ (x) и (y) выходитъ: если діаметръ волосного канала трубки равенъ разстоянію между пластинками, то высота поднятой жидкости въ волосной трубкѣ вдвое болѣе, чѣмъ между пластинками.

Когда стѣнки трубки жидкостью не смачиваются, то, вслѣдствіе преобладанія взаимнаго сцѣпленія частицъ надъ притяженіемъ частицъ къ трубкѣ, жидкость понижается; здѣсь пониженіе должно зависѣть не только отъ вещества жидкости, но также и отъ вещества твердаго тѣла.

114. Приложенія. Желѣзо плотнѣе воды и потому тонетъ въ ней при обыкновенныхъ условіяхъ; но если на поверхность воды положимъ

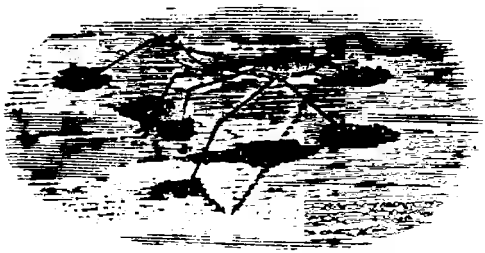
тонкую желѣзную иглу, покрытую чѣмъ нибудь жирнымъ, чтобы она не смачивалась; то жидкость понизится въ точкахъ соприкосновенія съ иглою, такъ что произойдетъ углубленіе, котораго объемъ можетъ быть болѣе объема иглы; если при этомъ вѣсъ иглы окажется равнымъ вѣсу вытѣсненной жидкости, то игла будетъ плавать.

Подобнымъ образомъ объясняется, почему нѣкоторыя насѣкомыя, которыхъ лапы не смачиваются водою, могутъ бѣгать по ея поверхности (фиг. 174).

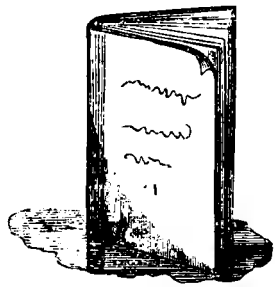
Если на столъ налить воды и поставить на нее немного раскрытую книгу, то вода подымается по листкамъ бумаги, и въ тѣхъ мѣстахъ выше, которыя находятся ближе къ корешку переплета (фиг. 175).

Явленіями же волосности и смачиванія объясняется способность пористыхъ тѣлъ, наприм. сахара, губки, дерева, втягивать въ себя воду, какъ скоро они приходятъ съ нею въ соприкосновеніе.

Восхожденіе соковъ въ растеніяхъ, а также масла, спирта и проч. въ свѣтильняхъ, происходитъ вслѣдствіе смачиванія наружныхъ и внут-



Фиг. 174.



Фиг. 175.

реннихъ стѣнокъ каналовъ тонкихъ растительныхъ волоконъ. Что это явленіе есть слѣдствіе смачиванія, а не волосности, выходитъ изъ того, что наибольшей высоты въ свѣтильняхъ достигаютъ тѣ жидкости, въ которыхъ сцѣпленіе менѣе.

Если вколотить сухой деревянный колъ въ отверстіе, сдѣланное въ камнѣ, и обливать колъ водою, то дерево разбухаетъ, и съ такою силою, что камень раскалывается.

115. Смѣшиваніе жидкостей. Если въ сосудъ налить молока и потомъ осторожно воды, такъ чтобы обѣ жидкости отдѣлялись другъ отъ друга горизонтальною плоскостью, и оставить такъ на нѣсколько времени, то онѣ сами собою смѣшаются и образуютъ однородную жидкость, состоящую изъ молока и воды; напротивъ, масло и вода, хотя бы нарочно перемѣшанныя, скоро одно отъ другой отдѣлятся, такъ что масло будетъ на верху, а вода внизу. То же замѣчается и въ другихъ

случаяхъ. Для объясненія этого явленія надо допустить, что въ смѣшивающихся жидкостяхъ частицы однородныя притягиваются слабѣе, чѣмъ разнородныя; въ несмѣшивающихся—наоборотъ. Такъ, притяженіе частицъ масла между собою и частицъ воды между собою менѣе взаимнаго притяженія частицъ молока и воды; напротивъ, притяженіе частицъ масла между собою и частицъ воды между собою болѣе притяженія частицъ масла къ частицамъ воды. Явленіе смѣшиванія жидкостей называется *диффузіей*.

Эндосмосъ и экзосмосъ. Жидкости смѣшиваются или *диффундируютъ* не только при взаимномъ соприкосновеніи, но даже когда онѣ раздѣлены одна отъ другой скважистой перегородкой. Для доказательства, возьмемъ мѣшокъ *A* (фиг. 176) изъ пористой перепонки (пузыря, наприм.) и плотно привяжемъ его къ стеклянной трубкѣ *bb*; наполнивъ потомъ его молокомъ, опустимъ въ стаканъ *ce* съ водою. Вскорѣ замѣтимъ, что уровень жидкости въ трубкѣ повышается, и въ то же время вода въ стаканѣ начинаетъ мутиться отъ присутствія въ ней молока. Это явленіе показываетъ, что между соприкасающимися жидкостями произошли два теченія чрезъ перепонку: молока въ воду и воды въ молоко, и притомъ въ неравныхъ количествахъ, такъ что объемъ жидкости въ пузырѣ *A* увеличился, а въ сосудѣ *ce* уменьшился. Если пузырь и всю стеклянную трубку наполнить водою, а въ стаканъ налить молока, то уровень воды въ трубкѣ будетъ понижаться. Явленіе увеличенія объема жидкости называется *эндосмосъ*, а уменьшенія—*экзосмосъ*; въ нашихъ примѣрахъ, для молока имѣетъ мѣсто эндосмосъ, а для воды—экзосмосъ. Подобнымъ образомъ можно доказать, что, въ случаѣ спирта и воды, для первой жидкости будетъ эндосмосъ, для второй—экзосмосъ. Водный растворъ сахара имѣетъ то же отношеніе къ водѣ, какъ и спиртъ.

Смѣшиваніе жидкостей чрезъ скважистыя перегородки совершается съ значительною силою. Для доказательства, наполняютъ молокомъ стаканъ (фиг. 177) и завязываютъ плотно пузыремъ *ae*; если потомъ опустить этотъ сосудъ въ другой съ водою, то, спустя нѣсколько времени, замѣтимъ, что пузырь сильно надуется.

Фиг. 177.

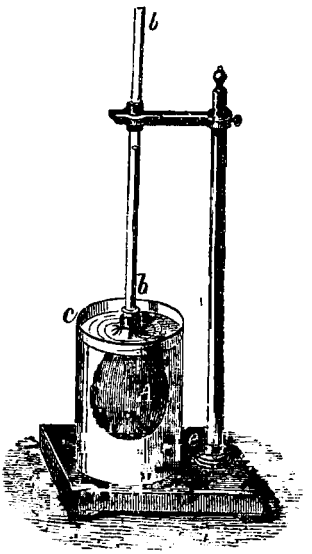
Явленіями эндосмоса и экзосмоса пользуются при приготовленіи экстрактовъ или настоевъ. Если въ бутылку или другой сосудъ, наполненный спиртомъ, положить какой либо плодъ, напр. сливу, то сокъ плода и спиртъ станутъ смѣшиваться чрезъ скважистую кожицу плода, такъ что, наконецъ,

обѣ жидкости сдѣлаются однородными. Тѣмъ же началомъ объясняется обмѣнъ жидкостей чрезъ скважистыя перегородки въ организмахъ животныхъ и растеній.

О ВОЗДУХѢ И ГАЗАХЪ.

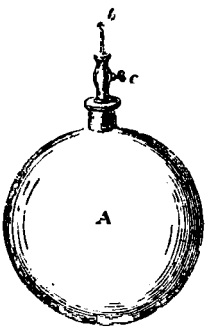
116. Газъ. Упругою жидкостью или газомъ называется тѣло, которое имѣетъ стремленіе занять по возможности большій объемъ [2]. Къ числу газовъ принадлежитъ воздухъ, но есть много и другихъ: кислородъ, водородъ, углекислый газъ и проч.

117. Вѣсъ и давленіе воздуха. Земной шаръ со всѣхъ сторонъ окруженъ прозрачною, безцвѣтною и упругою оболочкою, которая называется атмосферою или воздухомъ. Хотя мы это вещество и не видимъ, однако же существованіе его несомнѣнно подтверждается сопротивленіемъ, которое оно оказываетъ движущемуся тѣлу, вѣтромъ, который есть ничто иное, какъ движущійся воздухъ, и многими другими явленіями. Обладая, подобно всѣмъ газамъ, стремленіемъ занять по возможности большій объемъ, воздухъ разсѣялся бы въ пустомъ и безграничномъ пространствѣ вселенной, еслибы не имѣлъ вѣса; но, по причинѣ своей вѣсомости, онъ облегаетъ со всѣхъ сторонъ земной шаръ въ видѣ слоя болѣе 200 верстъ высоты, котораго плотность кверху уменьшается.



Фиг. 176.

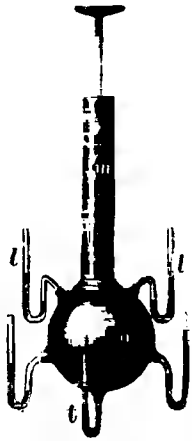
118. Что воздухъ и вообще всякій газъ имѣютъ вѣсъ, можно доказать слѣдующимъ образомъ. Берутъ полый стеклянный шаръ A (фиг. 178) съ металлической оправой, въ которую вставленъ кранъ c, запирающій отверстіе во внутренность шара. Повѣсивъ приборъ за крючекъ b къ чашкѣ вѣсовъ, кладутъ на другую чашку гири до тѣхъ поръ, пока не произойдетъ равновѣсіе. Затѣмъ вытягиваютъ изъ шара воздухъ и снова прицѣпляютъ его къ чашкѣ вѣсовъ; тогда равновѣсіе нарушается, и чашка съ гирями перетягиваетъ; это ясно показываетъ, что шаръ, отъ потери воздуха, сдѣлался



Фиг. 178.

легче. Уравновѣшивая шаръ снова гирями и вычитая второй вѣсъ изъ перваго, опредѣлимъ вѣсъ вытянутаго воздуха. Впустивъ потомъ въ шаръ какой нибудь иной газъ и сдѣлавъ новое взвѣшиваніе, найдемъ вѣсъ впущеннаго газа. Изъ такихъ опытовъ оказалось, что одинъ кубическій футъ обыкновеннаго комнатнаго воздуха вѣситъ приблизительно $8^1/_2$ золотниковъ.

119. Законъ передачи давленія въ жидкостяхъ [94] имѣетъ приложеніе и въ газахъ.



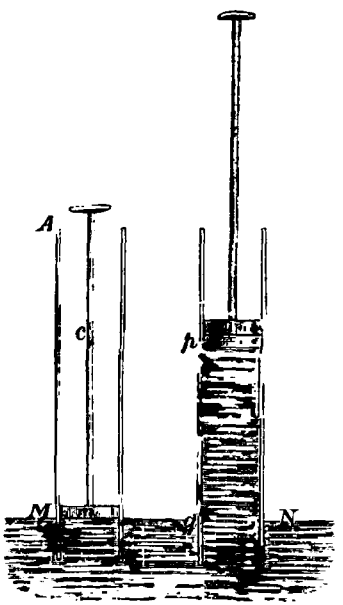
Фиг. 179.

Для доказательства, берутъ шарообразный сосудъ n (фиг. 179), наполненный какимъ нибудь газомъ, напр. воздухомъ. Къ шару придѣлываютъ цилиндръ m съ поршнемъ и стеклянныя согнутыя трубки t, въ которыя наливаютъ ртути. Если произведемъ на воздухъ, заключенный въ шарѣ n, чрезъ вдиганіе поршня, давленіе, то ртуть въ открытыхъ колѣнахъ всѣхъ трубокъ подымется, и притомъ на одну и ту же высоту

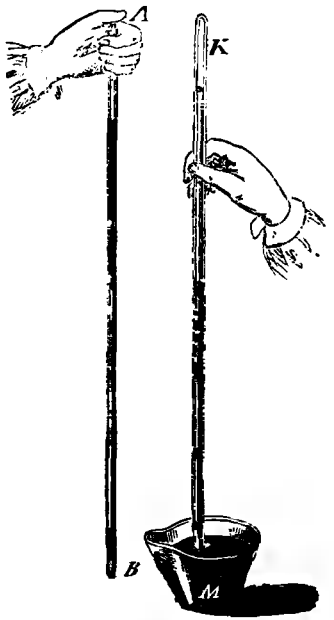
Подобно тому, какъ капельная жидкость, вслѣдствіе собственнаго вѣса, производитъ давленіе на дно сосуда, въ которомъ налита, такъ и атмосфера давитъ на земную поверхность и на всѣ тѣла, на землѣ находящіяся. Въ этомъ несомнѣнно убѣждаютъ насъ многія явленія. Упомянемъ самыя важныя. Погрузимъ въ воду MN (фиг. 180) одинъ конецъ полаго внутри цилиндра AB, въ которомъ можетъ двигаться поршень m. Если помощію стержня c поднять поршень, то между поршнемъ и поверхностью воды останется пустое пространство, гдѣ не будетъ на воду никакого давленія, между тѣмъ какъ снаружи на поверхность воды налегаетъ атмосфера; поэтому, вода не будетъ въ равновѣсіи и станетъ подыматься вслѣдъ за поршнемъ m. Выдвигая поршень далѣе, мы дойдемъ, наконецъ, до того, что вода подыматься перестанетъ, такъ что между водою и поршнемъ будетъ промежутокъ (фиг. 181). Въ эту пору, давленіе водяного столба pq будетъ уравновѣшиваться давленіемъ воздуха на поверхность воды въ бассейнѣ. Измѣривъ высоту этого столба, найдемъ, что она равна 34 футамъ.

Древніе не знали, что воздухъ имѣетъ вѣсъ, и поднятіе воды въ полномъ цилиндрѣ, вслѣдъ за поршнемъ, объясняли предположеніемъ. что природа боится пустого пространства [32]. Но когда въ XVII столѣтіи, при устройствѣ весьма высокаго насоса, вода поднялась только на 34 фута и далѣе не пошла, то предположеніе это должны бы-

ли оставить. Торичелли первый допустилъ, что воздухъ имѣетъ вѣсъ, и поднятіе воды объяснилъ давленіемъ атмосферы. Чтобы подтвердить свою гипотезу опытомъ, этотъ ученый взялъ, вмѣсто воды, ртуть, разсуждая такъ: для уравновѣшиванія давленія воздуха, потребенъ столбъ воды высотою въ 34 фута; слѣдовательно, ртутный столбъ долженъ быть въ 13,6 разъ ниже, потому что приблизительно во столько разъ ртуть плотнѣе воды. Раздѣляя 34 фута на 13,6, находимъ 30 дюйм. Затѣмъ, Торичелли взялъ стеклянную трубку *AB* (фиг. 182), закрытую съ одного конца, и наполнилъ ее ртутью; потомъ, закрывъ открытый конецъ *A* пальцемъ, перевернулъ трубку и, погрузивъ этотъ



Фиг. 180. Фиг. 181.



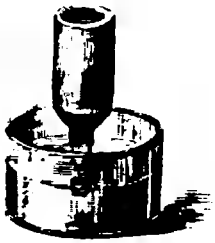
Фиг. 182.

конецъ въ чашку *M* со ртутью, отнялъ руку. Тогда ртуть опустилась немного въ трубкѣ, оставивъ за собою въ верхней части *K* трубки пустоту, и остановилась на высотѣ 30 дюймовъ отъ поверхности ртути въ чашкѣ *M*. Такимъ образомъ, предположеніе Торичелли, что воздухъ имѣетъ вѣсъ, подтвердилось опытомъ; впослѣдствіи, когда была изобрѣтена пневматическая машина, въ этомъ убѣдились непосредственнымъ взвѣшиваніемъ воздуха.

Изъ предыдущаго выходитъ, что давленіе воздуха на какую либо площадь равно вѣсу столба ртути высотою въ 30 дюймовъ, и котораго основаніе равно этой площади, или вѣсу столба воды, стоящаго на той же площади, и высотою въ 34 фута.

Паскаль повторилъ опытъ Торичелли съ водою, виномъ, масломъ и другими жидкостями и нашелъ, что высоты ихъ обратно пропорціональны плотностямъ. Давленіе воздуха на вершинѣ горы должно быть менѣе, нежели у подошвы, потому что тамъ меньше разстояніе до предѣла атмосферы, и, слѣдовательно, меньше высота воздушнаго столба, производящаго давленіе; поэтому, и ртуть въ опытѣ Торичелли должна стоять ниже 30 дюйм. Дѣйствительно, Перрье, произведшій опыты на горѣ Пюи-де-Домъ, по просьбѣ Паскаля, нашелъ на вершинѣ высоту ртутнаго столба 3 дюймами менѣе, нежели у подошвы.

Если трубка менѣе 30 дюймовъ, то ртуть вовсе изъ нея не выливается, потому что давленіе ртутнаго столба такой высоты менѣе давленія атмосферы. Подобнымъ же образомъ объясняются и слѣдующіе опыты. Если наполнить бутылку водою (фиг. 183), потомъ ее перевернуть погрузивъ горломъ въ сосудъ съ тою же жидкостью, то вода изъ бутылки не выльется.—Стаканъ, наполненный водою, покрываютъ бумагою и, придерживая бумагу рукою, быстро перевертываютъ стаканъ; если потомъ и отымемъ руку, то жидкость изъ стакана не выльется, потому что давленіе воздуха снизу болѣе давленія воды сверху.



Фиг. 183.

Давленіе жидкости на дно не зависитъ отъ формы сосуда [98], а потому высота ртути въ опытѣ Торичелли будетъ одна и та же, какой бы формы ни была трубка; сели *A*, *B*, *C*, *D* и *E* (фиг. 184) суть трубки разной формы, въ отвѣсномъ и наклонномъ положеніяхъ, то уровень жидкости въ нихъ будетъ находиться на одной и той же горизонтальной плоскости *mn*, которой разстояніе отъ поверхности ртути въ чашкѣ равно 30 дюймамъ.

Фиг. 184.

120. Величина атмосфернаго давленія. Сравнительно съ твердыми и жидкими тѣлами, атмосферный воздухъ вѣситъ весьма мало, но вся земная атмосфера имѣетъ громадный вѣсъ и производитъ громадное давленіе на земную поверхность и на всѣ земные предметы. Чтобы составить себѣ понятіе о величинѣ этого давленія, надо знать давленіе на единицу площади, наприм. на одинъ квадратный дюймъ, а для этого стоитъ только вычислить вѣсъ ртутнаго столба, стоящаго на этой площади высотою въ 30 дюймовъ, или вѣсъ столба воды, стоящаго на той же площади, но высотою въ 34 фута или 408 дюймовъ.

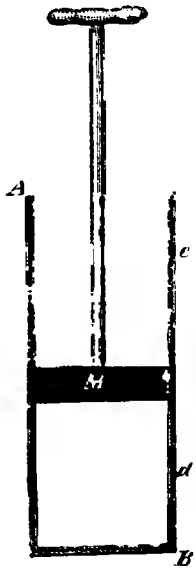
Но извѣстно, что одинъ кубическій дюймъ воды вѣситъ 3,84

золотника; слѣдовательно, вѣсъ 408 кубическихъ дюймовъ равенъ 3,84 золот. × 408, что составляетъ приблизительно 16 фунтовъ. Зная давленіе атмосферы на одинъ квадратный дюймъ, легко вычислить давленіе на всякую другую площадь. Для примѣра, найдемъ давленіе наповерхность стола, котораго площадь равна 10 квадратнымъ футамъ; обративъ 10 квадратныхъ футовъ въ дюймы и умноживъ 16 фунтовъ на найденное число, получимъ 576 пуд. Не должно впрочемъ думать, что ножки стола поддерживаютъ этотъ грузъ, потому что съ такою же точно силою воздухъ давитъ на столъ снизу вверхъ, такъ что ножки обременены только собственнымъ вѣсомъ стола. Находясь въ воздухѣ, мы также испытываемъ атмосферное давленіе, но не должно думать, что каждый квадр. дюйма нашего тѣла выдерживаетъ давленіе въ 16 фунт., потому что давленіе на все наше тѣло оказалось бы такъ велико, что мы были бы расплющены. Въ дѣйствительности же, подъ этимъ давленіемъ находятся жидкости и газы, которыми пропитано все наше тѣло. Правда, есть закрытыя полости, но онѣ не велики и на столько прочны, что могутъ выдерживать давленіе существующей атмосферы; въ другой атмосферѣ, болѣе или менѣе разрѣженной, онѣ могли бы попортиться, и въ самомъ дѣлѣ всѣ животныя чувствуютъ большія или меньшія страданія, и даже погибаютъ, находясь въ сгущенномъ или разрѣженномъ воздухѣ.

121. Упругость воздуха. Воздухъ, стремясь занять большій объемъ, производитъ давленіе на стѣнки сосуда, въ которомъ заключенъ; это давленіе уравновѣшивается давленіемъ атмосферы на внѣшнюю поверхность сосуда. Но какъ скоро закупоренный стеклянный сосудъ, или завязанный перепончатый пузырь, наполненные воздухомъ, помѣстимъ въ пустое пространство, или наполненное разрѣженнымъ газомъ, то стѣнки сосуда будутъ претерпѣвать давленіе изнутри наружу, и если онѣ не довольно прочны, то сосудъ разорвется; перепончатый пузырь увеличивается въ объемѣ и можетъ даже лопнуть [2]. Сила, съ которою газъ стремится занять большее пространство и оказываетъ давленіе на все то, что мѣшаетъ ему расширяться, называется *упругостью газа*.

Законъ Маріотта. Французскій аббатъ Маріоттъ и, одновременно съ нимъ, англійскій ученый Бойль нашли слѣдующій законъ для упругости газовъ. Пусть поршень M вставленъ (фиг. 185) въ сосудъ AB, содержащій обыкновенный воздухъ или какой нибудь другой газъ той же упругости; тогда поршень, не принимая въ разсчетъ его собственнаго вѣса и тренія, долженъ быть въ равновѣсіи, потому что давленія внутренняго воздуха и внѣшняго между собою равны. Если же вдви-

немъ поршень до точки d, такъ чтобы пространство, занимаемое газомъ, уменьшилось вдвое, то упругость газа увеличится въ два раза. При уменьшеніи пространства до одной трети, упругость газа увеличится въ три раза и т. д. Напротивъ, если выдвинемъ поршень до точки e, такъ чтобы объемъ газа сдѣлался въ два раза болѣе, то упругость уменьшится во столько же разъ; увеличивъ объемъ газа въ три раза, уменьшимъ упругость его также въ три раза. Итакъ, *объемъ газа обратно пропорціоналенъ его упругости*; въ этомъ именно заключается законъ Маріотта или Бойля. Измѣненіе упругости газа съ измѣненіемъ объема подтверждается тѣмъ, что требуется нѣкоторое усиліе для вталкиванія и выдвиганія поршня; въ первомъ случаѣ приходится преодолѣвать упругость газа, которая все возрастаетъ по мѣрѣ уменьшенія объема газа, а во второмъ, т. е. когда поршень выдвигаютъ, давленіе внутри уменьшается, между тѣмъ какъ снаружи остается одно и то же давленіе, именно давленіе атмосферы.



Фиг. 185.

Для сокращенія рѣчи принято называть *двумя атмосферами* упругость газа, если она вдвое болѣе упругости атмосфернаго воздуха; три атмосферы означаютъ тройную упругость и т. д. Равнымъ образомъ, когда упругость газа вдвое, втрое, вчетверо и т. д. менѣе противъ атмосфернаго воздуха, то говорятъ, что упругость равна $^1/_2$ атмосферы, $^1/_3$, $^1/_4$ и т. д. Давленіе атмосферы не остается постояннымъ, но непрерывно измѣняется, то уменьшаясь, то увеличиваясь. Нормальнымъ давленіемъ въ Россіи принимаютъ 30 дюйм., во Франціи 760^{mm}, что не много менѣе перваго (на 2^{mm}).

Такъ какъ объемъ газа обратно пропорціоналенъ его плотности, то иногда законъ Маріотта выражаютъ иначе: *упругость газа прямо пропорціональна его плотности*. И еще такъ: *плотность газа пропорціональна наружному давленію*, потому что наружное давленіе равно упругости сжимаемаго газа.

Законъ Маріотта можно выразить алгебрической формулой. Назовемъ чрезъ v объемъ газа, выраженный въ какихъ нибудь кубическихъ единицахъ, а чрезъ p — упругость газа, или высоту ртутнаго столба, уравновѣшивающаго эту упругость. Пусть объемъ v увеличился и сдѣлался равнымъ v', а упругость p уменьшилась и обратилась въ p'. Тогда

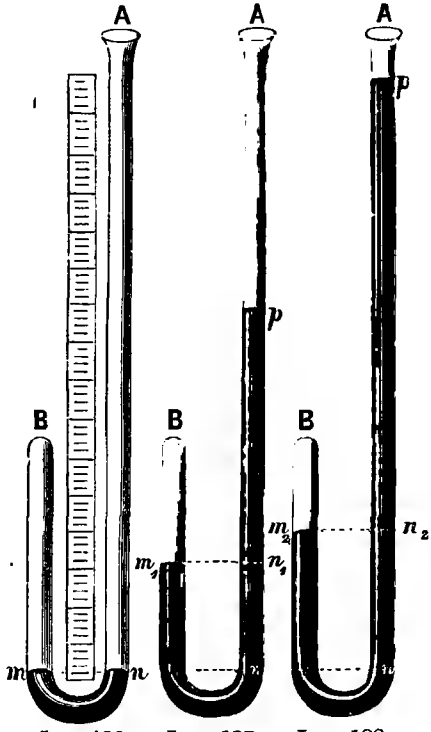
$$v : v' = p' : p,$$

откуда

$$v . p = v' . p'.$$

Такимъ образомъ, законъ Маріота состоитъ въ томъ, что *объемъ газа, умноженный на упругость*, т. е. vp, *есть величина постоянная*, каковъ бы ни былъ объемъ v.

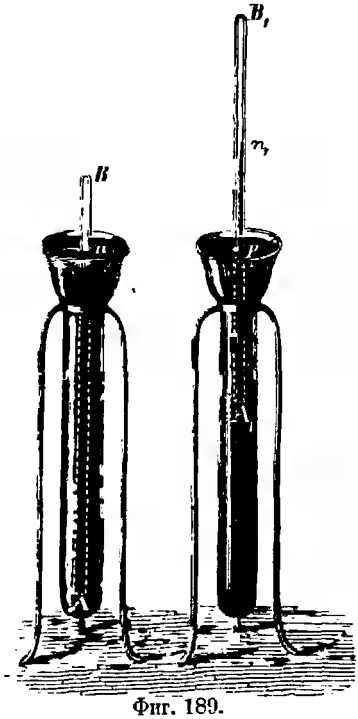
Для доказательства упомянутаго закона, Маріоттъ пользовался трубкой AB (фиг. 186), изогнутой въ два неравныя колѣна; длинное An было открыто наверху, короткое Bm запаяно; подлѣ того и другого находились шкалы. Въ трубку наливаютъ ртути такъ, чтобы эта жидкость стояла на одномъ уровнѣ mn въ обоихъ колѣнахъ; тогда давленія, испытываемыя изъ закрытаго колѣна и снаружи, должны быть равны, безъ чего не возможно было бы равновѣсіе. Отсюда выходитъ, что воздухъ, заключенный въ закрытомъ колѣнѣ, давитъ, вслѣдствіе своей упругости на ртуть, съ силою, равною давленію атмосферы, или вѣсу столба ртути въ 30 дюйм. высоты; иначе сказать: воздухъ, заключенный въ пространствѣ Bm, производитъ на уровень m ртути такое же давленіе, какое произвелъ бы ртутный столбъ высотою въ 30 дюйм.; ртуть mn была бы выброшена этою силою вонъ изъ трубки, если бы тому не препятствовало давленіе атмосферы. Пусть теперь еще наливаютъ ртути чрезъ открытый конецъ A; ртуть будетъ частію возвышаться въ открытомъ колѣнѣ, частію будетъ переливаться въ закрытое и сдавливать тамъ воздухъ. Положимъ, что ртуть поднялась въ закрытомъ колѣнѣ B (фиг. 187) до высоты m_1 и въ A до p. Если пространство Bm_1, занимаемое теперь воздухомъ, вдвое менѣе прежняго пространства Bm, и если законъ Маріотта справедливъ, то упругость воздуха, заключеннаго въ пространствѣ Bm_1, должна быть вдвое болѣе упругости наружнаго, и, слѣдовательно, чтобы воспрепятствовать воздуху, заключенному въ пространствѣ Bm_1, расшириться, нужно произвести давленіе, равное вѣсу ртутнаго столба высотою въ 60 дюймовъ. Такъ какъ ртуть m_1mnn_1 уравновѣшивается сама собою, а на поверхность p давитъ



Фиг. 186. Фиг. 187. Фиг. 188.

атмосфера, которой давленіе равно 30 дюймамъ, то высота ртутнаго столба pn_1 должна быть равна 30 дюймамъ, что и въ самомъ дѣлѣ оправдывается на опытѣ. Если бы пространство Bn_2 (фиг. 188), занимаемое воздухомъ, составляло $^1/_3$ прежняго пространства Bn, то упругость газа возрасла бы втрое, и потому высота ртутнаго столба pn_2 должна была бы равняться 60 дюймамъ, что также подтверждается опытомъ.

Чтобы доказать законъ Маріотта въ томъ случаѣ, когда упругость газа менѣе одной атмосферы, поступаютъ такъ. Берутъ стеклянную трубку AB (фиг. 189), запаянную съ одного конца B и раздѣленную на части равной емкости, и, наливъ въ нее ртути до нѣкоторой высоты, напримѣръ до $^7/_8$ ея длины, закрываютъ открытый конецъ пальцемъ и погружаютъ этимъ концомъ въ высокій сосудъ со ртутью; потомъ, трубку, подымаютъ или опускаютъ до тѣхъ поръ, пока жидкость не остановится въ трубкѣ и сосудѣ на одномъ уровнѣ n. Тогда, очевидно, упругость воздуха въ пространствѣ Bn будетъ равна упругости наружнаго воздуха. Затѣмъ, трубку BA подымаютъ; тогда газъ займетъ большее пространство B_1n_1, упругость его уменьшится, а потому равновѣсіе между давленіями внутренняго и наружнаго воздуха нарушится; ртуть въ трубкѣ станетъ подыматься и остановится на такой высотѣ, при которой давленіе изъ трубки наружу будетъ равно давленію атмосферы снаружи въ трубку, т. е. когда давленіе ртутнаго столба n_1p, сложенное съ упругостью заключеннаго въ трубкѣ B_1n_1 воздуха, сдѣлается равнымъ давленію ртутнаго столба въ 30 дюйм. высоты, иначе сказать — когда упругость разрѣженнаго B_1n_1 воздуха будетъ равна давленію столба ртути, высотою въ 30 дюймовъ, безъ высоты ртутнаго столба pn_1. Пусть пространство B_1n_1 болѣе прежняго Bn вдвое; тогда упругость воздуха B_1n_1, если законъ Маріотта справедливъ, будетъ вдвое менѣе упругости атмосферы и будетъ поэтому измѣряться столбомъ ртути въ 15 д. высоты; слѣдовательно, высота столба n_1p должна равняться 15 д. Такъ въ самомъ дѣлѣ и наблюдается. Если бы B_1n_1 было въ 4 раза

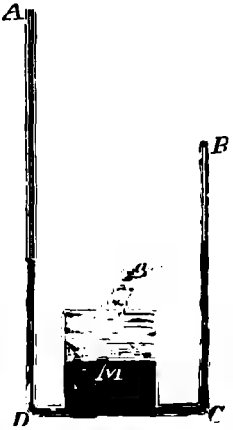


Фиг. 189.

болѣе Bn, то упругость воздуха была бы въ 4 раза менѣе прежней и потому уравновѣшивалась бы столбомъ ртути въ $7^1/_2$ дюймовъ высоты; тогда n_1p было бы равно $30 - 7^1/_2$ или $22^1/_2$ дюймамъ, что также оправдывается непосредственнымъ измѣреніемъ.

Тотъ же приборъ можетъ служить для повѣрки закона Маріотта и въ случаѣ всякаго газа; только тогда нужно наполнить ртутью всю трубку и чрезъ открытый конецъ ея, опущенный въ сосудъ, вводить по особенной трубкѣ испытуемый газъ, который по своей легкости будетъ подыматься вверхъ и вытѣснять ртуть.

122. Приборъ Маріотта для сгущенія газа былъ усовершенствованъ *Дюлонгомъ* и *Араго* съ цѣлью точнѣе изслѣдовать возрастаніе упругости воздуха при увеличеніи его плотности, и чтобы имѣть возможность производить опыты при высокихъ давленіяхъ. Приборъ состоялъ изъ двухъ сообщавшихся трубокъ; одна изъ нихъ BC (фиг. 190) длиною въ $1^m,7$ была закрыта съ одного конца B и раздѣлена на части равной емкости; другая AD состояла изъ 13 трубокъ, каждая въ 2^m длины, и занимала всю высоту башни одного зданія. Обѣ трубки соединялись съ чугуннымъ резервуаромъ M, наполненнымъ ртутью, на поверхность которой накачивали помощію насоса, чрезъ трубку a воду. Отъ этого, ртуть подымалась въ обѣихъ трубкахъ. Наблюдали въ одно время пространство, занимаемое воздухомъ въ трубкѣ BC, и разность высотъ ртутныхъ столбовъ въ обѣихъ трубкахъ.



Фиг. 190.

Реньо усовершенствовалъ приборъ Дюлонга и Араго и повторилъ опыты съ большею точностью, притомъ не только для воздуха, но и для другихъ газовъ. Провѣркою закона Маріотта занимались и другіе ученые. Самыя точныя изслѣдованія принадлежатъ профессору Менделѣеву.

Газы не повинуются во всей строгости закону Маріотта. Въ нижеслѣдующей таблицѣ, извлеченной изъ опытовъ Реньо, показано возрастаніе упругости газовъ съ уменьшеніемъ занимаемаго ими пространства; при этомъ предполагается, что вначалѣ газы имѣли упругость, которая уравновѣшивается столбомъ ртути въ одинъ метръ высотою.

ОБЪЕМЫ.	ВОЗДУХЪ.	УГЛЕКИСЛЫЙ ГАЗЪ.	ВОДОРОДЪ.
1	$1^m,00$	$1^m,00$	$1^m,00$
$^1/_5$	4 ,98	4 ,83	5 ,01
$^1/_{10}$	9 ,92	9 ,23	10 ,06
$^1/_{15}$	14 ,82	13 ,19	15 ,14
$^1/_{20}$	19 ,72	16 ,71	20 ,27

Изъ этой таблицы видимъ, что, при уменьшеніи пространства, упругость воздуха увеличивается менѣе, чѣмъ слѣдовало бы ожидать по

закону Маріотта; такъ при объемѣ $^1/_{20}$ прежняго, упругость не въ 20 разъ болѣе, а только въ 19,72. Азотъ представляетъ подобное явленіе, но онъ отступаетъ менѣе отъ закона Маріотта, чѣмъ воздухъ. Многіе газы, при уплотненіи, то есть при уменьшеніи занимаемаго ими пространства, и при пониженіи температуты, обращаются въ жидкости. Такіе газы тѣмъ болѣе сжимаемы и, слѣдовательно, тѣмъ менѣе повинуются закону Маріотта, чѣмъ они ближе къ переходу въ жидкое состояніе. Таковы газы: углекислый, сѣрнистый и проч. Водородъ отступаетъ отъ закона Маріотта весьма мало; отступленія его обратны отступленіямъ воздуха: упругость, при уплотненіи водорода, увеличивается болѣе, чѣмъ слѣдовало бы ожидать.

Изъ работъ профессора Менделѣева надъ разрѣженными газами выходитъ, что каждый газъ, при нѣкоторой упругости (меньше 1 атмосферы), вполнѣ повинуется закону Маріотта. Ниже этой упругости, газы отступаютъ отъ закона Маріотта одинаково, именно въ ту же сторону, какъ и водородъ; иначе сказать: при уменьшеніи объема газа въ n разъ, упругость его увеличивается болѣе, чѣмъ въ n разъ.

Отступленіе отъ закона Маріотта выражается алгебрически весьма просто. Назовемъ чрезъ v объемъ и чрезъ p—упругость газа. Если упругость весьма мала, то произведеніе $v.p$, при уменьшеніи v, возрастаетъ. По мѣрѣ уменьшенія v, газъ достигаетъ такого состоянія, когда $v.p$ дѣлается постояннымъ, т. е. газъ повинуется закону Маріотта. При дальнѣйшемъ уменьшеніи v, количество $v.p$ уменьшается. Водородъ представляетъ исключеніе изъ общаго правила: какова бы ни была упругость водорода, произведеніе vp, при уменьшеніи v, увеличивается. При нѣкоторомъ весьма большомъ давленіи и, слѣдовательно, маломъ объемѣ, произведеніе vp для всѣхъ газовъ снова начинаетъ увеличиваться.

Газовыя смѣси также не вполнѣ повинуются закону Маріотта, отступая въ ту или другую сторону, въ бо́льшей или меньшей степени, въ зависимости отъ свойствъ газовъ, входящихъ въ составъ смѣси. Дальтонъ открылъ законъ, извѣстный подъ названіемъ закона *частнаго* или *парціальнаго давленія: упругость газовой смѣси равна суммѣ упругостей, смѣшанныхъ газовъ, предполагая, что каждая составная часть распространилась по всему объему, занятому смѣсью.* Пусть, наприм., кубич. метръ кислорода смѣшанъ съ 4 кубич. метрами азота при обыкновенной упругости, т. е. 760^{mm}. Еслибы оба газа вполнѣ слѣдовали закону Маріотта, то кислородъ, занявъ весь объемъ смѣси, т. е. 5 куб. метровъ, имѣлъ бы упругость $\frac{1}{5} \cdot 760^{mm}$ или 152^{mm}, азотъ— 608^{mm}, а упругость смѣси была бы $152+608=760$, какъ и слѣдовало ожидать. Въ дѣйствительности, эти газы отступаютъ отъ закона Маріотта, и не трудно разсудить, что упругость смѣси должна оказаться болѣе вычисленной. Предполагая снова, что газы вполнѣ слѣдуютъ закону Маріотта, допустимъ, что та же газовая смѣсь кислорода и азота занимаетъ теперь въ 10 разъ меньшее пространство, т. е. $\frac{1}{2}$ кубич. метра. Парціальное давленіе кислорода будетъ 152×10 или 1520^{mm}; парціальное давленіе азота

6080^{mm}; упругость смѣси 1520+6080, или 7600^{mm}. Въ дѣйствительности, упругость будетъ менѣе.

123. Вѣроятная высота атмосферы. По высотѣ столбовъ ртути и воды, уравновѣшивающихъ давленіе атмосферы, можно было бы опредѣлить ея высоту, еслибы воздухъ былъ вездѣ одинаково плотенъ. Давленіе столба воды (фиг. 181) *pq* въ 34 фута равно давленію атмосферы; другими словами: столбъ воды этой высоты имѣетъ такой же вѣсъ, какъ столбъ воздуха, поставленный на равномъ основаніи и простирающійся до предѣловъ атмосферы. Такой воздушный столбъ, если бы плотность по всей высотѣ его была одна и та же, долженъ быть болѣе 34 футовъ во столько разъ, во сколько плотность воздуха менѣе плотности воды. Но извѣстно, что вода въ 770 разъ плотнѣе воздуха; слѣдовательно, произведеніе 34 фут.×770, или, приблизительно, $7^1/_2$ верстъ, выражаетъ высоту атмосферы въ томъ предположеніи, что воздухъ вездѣ одинаково плотенъ. Но воздухоплаватели, подымавшіеся на аэростатахъ въ высшія страны атмосферы, и путешественники, восходившіе на высокія горы, всѣ согласно утверждаютъ, что плотность воздуха, съ удаленіемъ отъ поверхности земли, уменьшается. Отсюда выходитъ, что найденное нами число $7^1/_2$ верстъ менѣе истиннаго. Обыкновенно, высоту атмосферы полагаютъ отъ 50 до 100 верстъ. Но изысканія надъ падающими звѣздами заставляютъ думать, что на разстояніи 200 верстъ отъ поверхности земли плотность воздуха еще довольно значительна.

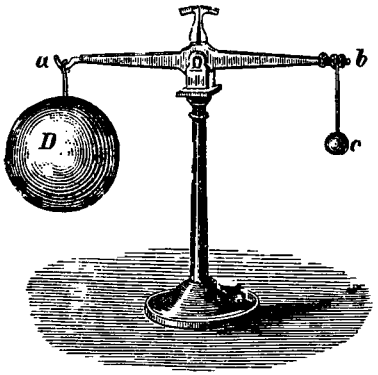
Чтобы объяснить, почему съ удаленіемъ отъ земли плотность воздуха уменьшается, вообразимъ, что атмосфера раздѣлена на горизонтальные параллельные слои, которыхъ пусть будетъ 100. На самомъ нижнемъ лежитъ 99 слоевъ, на второмъ 98, на третьемъ 97 и т. д. Слѣдовательно, чѣмъ слой находится выше, тѣмъ меньшее выдерживаетъ давленіе. Но, по закону Маріотта, плотность газа пропорціональна наружному давленію [121], а потому нижніе слои атмосферы должны быть плотнѣе верхнихъ.

Каждый слой воздуха сдавливается прочими, на немъ лежащими, и, стараясь занять большій объемъ, производитъ въ свою очередь во всѣ стороны такое же давленіе, какое испытываетъ самъ. Отсюда выходитъ, что въ каждомъ слоѣ атмосферы, при ея равновѣсіи, упругость должна быть равна вѣсу вертикальнаго столба воздуха, стоящаго надъ этимъ слоемъ.

Самый верхній слой атмосферы, не удерживаемый ничѣмъ сверху, долженъ бы былъ, повидимому, разсѣяться въ міровомъ пространствѣ, вслѣдствіе своей, хотя и весьма слабой, упругости. Если бы это случилось, то второй слой, по

удаленіи перваго, также разсѣялся бы въ міровой пустотѣ; за нимъ послѣдовалъ бы третій и т. д. Такимъ образомъ, земной шаръ лишился бы своей атмосферы. Мы не знаемъ, почему первый слой не удаляется отъ земли: отъ того-ли, можетъ быть, что, вслѣдствіе своей разрѣженности и сильнаго холода, онъ уже не имѣетъ вовсе упругости, или потому что міровое пространство не есть совершенная пустота, но наполнена необычайно тонкимъ веществомъ весьма слабой упругости. Разрѣшить этотъ вопросъ пока невозможно, потому что до сихъ поръ не найдено способовъ производить испытанія съ воздухомъ, когда онъ при низкой температурѣ находится въ состояніи сильнаго разрѣженія.

124. Потеря вѣса тѣлъ въ воздухѣ. Бароскопъ. Всякое тѣло, находящееся въ воздухѣ, какъ и во всякой другой жидкости, теряетъ въ своемъ вѣсѣ столько, сколько вѣситъ вытѣсненная имъ жидкость [101]. Посредствомъ *бароскопа* можно убѣдиться, что тѣло въ воздухѣ теряетъ въ своемъ вѣсѣ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе его объемъ. Бароскопъ состоитъ изъ вѣсовъ, на коромыслѣ которыхъ *ab* (фиг. 191) уравновѣшиваются два тѣла *c* и *D* одинаковаго вѣса, но неравнаго объема и, слѣдовательно, различной плотности; одно *c* напр. изъ свинцу, другое *D* изъ пробки. Первое теряетъ въ своемъ вѣсѣ менѣе второго, такъ какъ объемъ его меньше; а потому, хотя оба тѣла уравновѣшиваются въ воздухѣ, но въ дѣйствительности пробка тяжеле. Въ самомъ дѣлѣ, если помѣстимъ бароскопъ въ стеклянный сосудъ, изъ котораго вытянемъ воздухъ, то равновѣсіе нарушится, и пробка перетянетъ; явленіе будетъ обратное, то есть свинцовая гиря перевѣситъ пробку, если въ сосудъ впустить газъ болѣе плотный, чѣмъ воздухъ, напр. углекислый газъ.

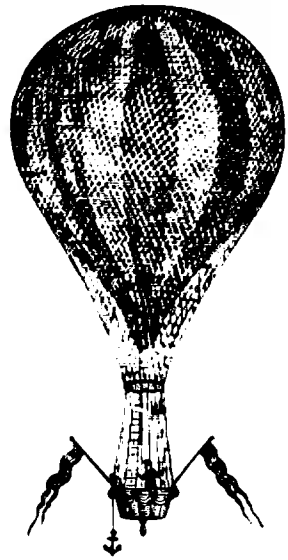


Фиг. 191.

Получаемый нами вѣсъ при взвѣшиваніи тѣла въ воздухѣ всегда бываетъ менѣе надлежащаго; чтобы найти истинный вѣсъ, должно къ найденному приложить вѣсъ воздуха, взятаго въ объемѣ тѣла.

125. Аэростатъ. Если тѣло легче жидкости того же объема, то, будучи въ нее погружено, всплываетъ на ея поверхность [102]. Воздухъ есть также жидкость, хотя и весьма малой плотности; поэтому, если тѣло легче воздуха, взятаго въ такомъ же объемѣ, то оно не можетъ остаться на земной поверхности, но будетъ подыматься, пока не достигнетъ тѣхъ странъ атмосферы, гдѣ вѣсъ вытѣсняемаго тѣломъ воздуха будетъ равенъ вѣсу самого тѣла. Безполезно искать столь

легкій предметъ на землѣ, но его можно приготовить искусственно. *Воздушный шаръ* или *аэростатъ* (фиг. 192) есть именно такой предметъ и состоитъ изъ шарообразной оболочки, наполненной весьма легкимъ газомъ, наприм. водородомъ. Оболочка дѣлается изъ плотной матеріи въ нѣсколько слоевъ, переслоенныхъ каучукомъ, чтобы чрезъ нее не могъ уйти газъ. Оболочка покрывается веревочной сѣткой, къ которой снизу привѣшивается легкая корзина. Если аэростатъ достаточно великъ, то общій вѣсъ оболочки, наполняющаго ее газа, веревочной сѣтки и корзины будетъ менѣе вѣса воздуха, взятаго въ объемѣ всѣхъ этихъ предметовъ. Тогда аэростатъ будетъ подыматься и можетъ поднять съ собою весьма большіе грузы. Въ корзину помѣщаются пассажиры съ инструментами и другими предметами, которые имъ могутъ понадобиться во время воздушнаго путешествія.



Фиг. 192.

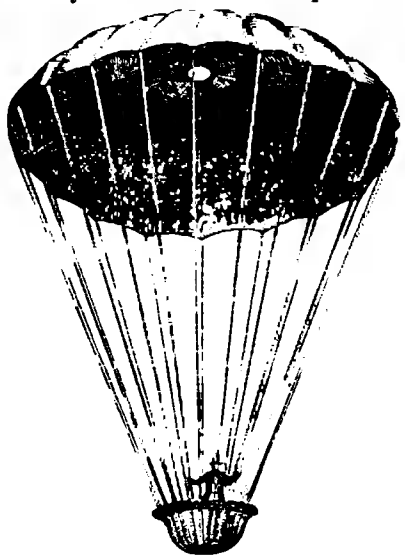
Открытіе аэростатовъ относится къ концу прошедшаго столѣтія и принадлежитъ братьямъ *Монгольфьерамъ*. Ихъ шары содержали нагрѣтый воздухъ. Нагрѣваніе они производили, помѣщая подъ отверстіемъ, сдѣланнымъ внизу аэростата, корзину, въ которой горѣли нѣкоторыя вещества; воздухъ отъ нагрѣванія расширялся; часть его выходила черезъ отверстіе наружу, и вѣсъ оставшагося газа былъ меньше прежняго. Первый, отважившійся подняться, былъ Пилатръ-де-Розье. Затѣмъ, воздухоплаванія повторялись весьма часто. Одно изъ самыхъ замѣчательныхъ въ научномъ отношеніи воздушныхъ путешествій было совершено Ге-Люссакомъ, поднявшимся на $6^1/_2$ верстъ. Потомъ, Гренъ поднялся еще выше. Наконецъ, Глечеръ (Glaicher) и Коксвель (Coxwell) достигли въ 1863 году высоты около 10 верстъ.

Вотъ результаты, доставленные этими путешествіями.

Верхніе слои атмосферы холоднѣе нижнихъ; воздухъ тамъ чрезвычайно сухъ; по причинѣ его разрѣженности, обращеніе крови и дыханіе ускоряются; небесный сводъ кажется темнымъ и усѣянъ звѣздами; звуки слабы, такъ что выстрѣлъ изъ пистолета производитъ едва замѣтный трескъ; птица, выпущенная изъ аэростата, не можетъ летать и падаетъ. На разстояніи 10 верстъ отъ земли человѣкъ жить не можетъ.

Глечеръ и Коксвель, достигнувъ этой высоты, почувствовали сначала оцѣпенѣніе членовъ, такъ что не въ состояніи были потянуть веревку, отворяв-

шую клапанъ для выпусканія водорода, чтобы опуститься на землю, и потомъ впали въ безчувственное состояніе. Они бы, вѣроятно, и погибли, если бы оставались долго въ этомъ положеніи. Къ счастью, газъ самъ собою прошелъ чрезъ оболочку; аэростатъ, сдѣлавшись тяжеле, сталъ опускаться, и на разстояніи 8 верстъ отъ земли эти отважные естествоиспытатели получили сознаніе. Въ 1875 г. трое французскихъ воздухоплавателей: Сивель, Кроче-Спинелли и Тиссандье претерпѣли большія страданія и первые двое умерли въ верхнихъ слояхъ атмосферы, хотя наибольшая высота, которой они достигли, вѣроятно, не превосходила $8^1/_2$ километровъ. Причиною этого несчастія считаютъ быстрое измѣненіе давленія атмосферы. Находясь уже на большой высотѣ, аэронавты выкинули много балласта, и аэростатъ сталъ быстро подыматься. Почувствовавъ себя худо, они выпустили слишкомъ много газа, и аэростатъ сталъ быстро падать. Боясь разбиться о землю, они опять выкинули излишне много балласта и снова поднялись, еще до бо́льшей высоты, какъ полагаетъ Тиссандье, потерявшій въ это время сознаніе.



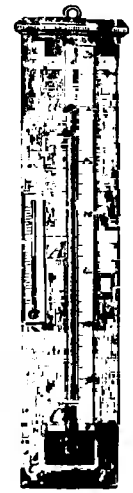
Фиг. 193.

126. Парашютъ. Парашютъ даетъ возможность воздухоплавателямъ опускаться безопасно съ аэростата на землю, въ случаѣ какого либо несчастія. Верхняя часть его (фиг. 193) сдѣлана изъ полотна и имѣетъ видъ большого зонтика; къ окружности его прикрѣплены веревки, поддерживающія корзину, въ которой помѣщается воздухоплаватель. Отъ сильнаго сопротивленія воздуха, по причинѣ большой поверхности парашюта, паденіе замедляется. Въ срединѣ парашюта вырѣзывается отверстіе, куда вытекаетъ сжатый воздухъ, потому что иначе корзина можетъ получить сотрясенія, опасныя для воздухоплавателя.

Важнѣйшіе приборы, которыхъ устройство основано на вѣсѣ и упругости воздуха.

127. Барометръ. Приборъ, послужившій Торичелли для доказательства, что атмосфера производитъ давленіе, можетъ быть употребленъ для измѣренія этого давленія во всякое время. Такой приборъ, въ измѣненномъ нѣсколько видѣ, приспособленномъ къ точнымъ наблюденіямъ, называется *барометромъ*; необходимость его оказывается изъ того, что высота ртутнаго столба бываетъ разная въ разные дни и даже разные часы одного и того же дни. Главная часть его—стеклянная,

запаянная на верху трубка dC со ртутью, погруженная открытымъ концомъ въ чашку тоже со ртутью (фиг. 194). Въ верхней, запаянной части трубки надъ ртутью должна быть пустота. Трубка и чашка утверждаются на деревянной доскѣ A, а рядомъ съ трубкой укрѣпляется шкала или линейка, раздѣленная на дюймы и линіи. Помощію шкалы опредѣляютъ высоту ртутнаго столбика. Нуль шкалы долженъ совпадать съ поверхностью ртути. Если атмосферное давленіе увеличивается, то ртуть въ барометрѣ подымается, а при уменьшеніи давленія—опускается.



Фиг. 194.

Пространство, заключенное въ верхней части трубки, надъ ртутью, называется *торичелліевой* или *барометрической пустотой*.

При устройствѣ барометра, для точнаго измѣренія высоты ртути, надо обращать вниманіе на многія обстоятельства.

При самомъ тщательномъ изготовленіи барометровъ, въ торичелліевой пустотѣ всегда остается небольшое количество воздуха, который давитъ своею упругостью на ртуть и уменьшаетъ ея высоту; упругость эта весьма мала, но, при наблюденіяхъ, требующихъ особенной точности, ее необходимо знать.

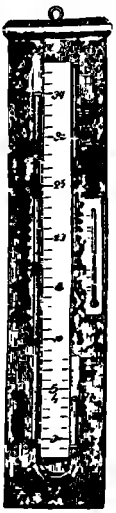
Если при нѣкоторой высотѣ барометра поверхность ртути въ чашкѣ совпадаетъ съ нулемъ шкалы, то, при уменьшеніи давленія атмосферы, ртуть въ трубкѣ опустится и, слѣдовательно, въ чашкѣ повысится, а потому нуль шкалы будетъ ниже поверхности ртути, и найденная высота барометра не будетъ истинная. Подобное явленіе произойдетъ также тогда, когда ртуть въ трубкѣ станетъ выше. Впрочемъ, эта погрѣшность весьма мала, потому что поперечный разрѣзъ трубки всегда гораздо менѣе поверхности ртути въ чашкѣ; еслибы напр. первый составлялъ $^1/_{25}$ второй, то ртутный столбикъ въ дюймъ высоты, выйдя изъ трубки, поднялъ бы уровень ртути въ чашкѣ только на 0,4 линіи. Такой величиной можно пренебречь при обыкновенныхъ наблюденіяхъ, но при болѣе точныхъ она устраняется тѣмъ, что дѣлаютъ подвижными или шкалу, или дно чашки.

На высоту барометра имѣетъ вліяніе волосность, вслѣдствіе которой ртуть стоитъ ниже надлежащаго положенія; эту погрѣшность, опредѣляемую изъ наблюденій надъ явленіями волосности, должно прикладывать къ высотѣ барометра.

При точныхъ наблюденіяхъ, необходимо еще обращать вниманіе на температуру, потому что холодная ртуть плотнѣе теплой и, слѣдовательно, должна стоять ниже, чтобы уравновѣсить давленіе атмосферы.

Высоту барометра приводятъ къ 0°, т. е. вычисляютъ, по наблюденной высотѣ, ту высоту, которую имѣла бы ртуть при 0°; такое вычисленіе легко сдѣлать, если извѣстно расширеніе ртути при нагрѣваніи. Для опредѣленія температуры, при барометрѣ находится термометръ.

128. Разсмотрѣнный нами барометръ называется *барометромъ съ чашечкою*. Нерѣдко употребляется еще *барометръ сифонный*; онъ состоитъ изъ сифонной (фиг. 195) трубки *abe*, запаянной въ точкѣ *a* и наполненной ртутью отъ *m* до *n*. Надъ *m* находится пустота, атмосфера же давитъ на ртуть *n* въ открытомъ концѣ трубки. Высота барометра измѣряется по шкалѣ; она равна разности высотъ ртути въ обоихъ колѣнахъ сифона.



Фиг. 195.

Высота ртути въ барометрѣ въ нашихъ странахъ рѣдко бываетъ ниже 28 дюйм. и почти никогда не превосходитъ 31 дюйма.

129. При барометрическихъ наблюденіяхъ, требующихъ особенной точности, употребляется *катетометръ* [21]. Примѣненіе его наиболѣе удобно при сифонномъ барометрѣ. Зрительную трубу катетометра направляютъ сначала на вершину ртутнаго столба въ закрытомъ колѣнѣ сифона, а потомъ на поверхность ртути въ открытомъ колѣнѣ; разность отчетовъ дастъ высоту барометра.

130. Если опытъ Торичелли произвести безъ предосторожностей (которыя сейчасъ будутъ указаны), то въ запаянной части трубки, надъ ртутью, оказывается газъ, который своею упругостью давитъ на ртуть и уменьшаетъ высоту ртутнаго столба. Появленіе газа обыкновенно объясняютъ тѣмъ, что ртуть можетъ растворять воздухъ, а придя въ соприкосновеніе съ пустотой, освобождаетъ его. По мнѣнію профессора Менделѣева, это явленіе слѣдуетъ объяснять свойствомъ стекла сгущать на своей поверхности воздухъ, который выдѣляется, какъ только стекло будетъ введено въ пустоту. Удаленіе газа изъ торичелліевой пустоты достигается (хотя не вполнѣ) чрезъ кипяченіе ртути. Для этого барометрическую трубку, наполненную ртутью, ставятъ почти въ горизонтальное положеніе, приподымая открытый конецъ; расположивъ подъ трубкой рядъ лампъ или рѣшетку съ угольями, приводятъ ртуть въ кипѣніе. Подъ вліяніемъ высокой температуры, воздухъ и водяные пары отдѣляются отъ поверхности трубки и уносятся, вмѣстѣ съ парами ртути, наружу. Не говоря уже о томъ, что операція эта чрезвычайно затруднительна, особенно въ широкихъ трубкахъ, она не достигаетъ цѣли: въ торичелліевой пустотѣ остается газъ; кромѣ того, свойства ртути, при кипяченіи ея на воздухѣ, измѣняются: она начинаетъ прилипать къ стеклу, отчего волосность дѣлается непостоянною.

Недостатки барометровъ совершенно устранены профессоромъ Менделѣевымъ, который нашелъ способъ наполнять эти снаряды холодною ртутью, не подвергая ея кипяченію, а это, въ свою очередь, дало возможность строить барометры съ такими широкими камерами, что волосность не имѣетъ никакого вліянія.

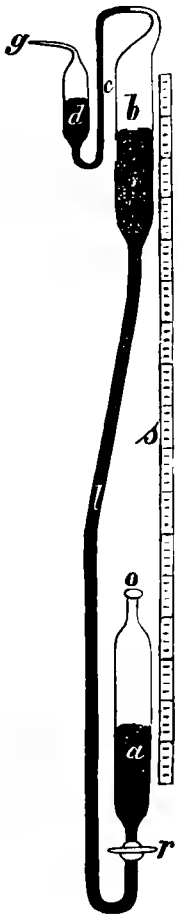
Мы опишемъ здѣсь барометръ профессора Менделѣева только въ главныхъ чертахъ, опуская многія подробности, которыя, впрочемъ, имѣютъ очень важное значеніе, когда дѣло касается точности измѣреній. Фигура 196 представляетъ схему этого прибора. Буквами a и b обозначены барометрическія камеры: верхняя камера a содержитъ пустоту, камера b сообщена съ воздухомъ чрезъ отверстіе o. Разность высотъ ртути въ сифонной трубкѣ alb измѣряется по шкалѣ s, установленной вертикально, а еще лучше катетометромъ. Существенная часть прибора есть ртутный запиратель cde; онъ состоитъ изъ тонкой трубки (1^{mm} въ діаметрѣ), выходящей изъ вершины верхней камеры a и оканчивающейся широкой трубкой, сообщенной съ воздухомъ чрезъ отверстіе v. Воронка h, соединенная посредствомъ трубки m съ камерой b, служитъ для наполненія прибора ртутью и удаленія оттуда воздуха. Сначала запираютъ отверстіе o и вливаютъ чистую и сухую ртуть въ воронку h. Чрезъ отверстіе v, помощію пневматической машины (лучше ртутнымъ насосомъ [138]), вытягиваютъ воздухъ. Ртуть подымается въ камеру a, а такъ какъ воронка h отстоитъ отъ вершины камеры a гораздо менѣе, чѣмъ на 30 дюйм., то камера a не только вся наполнится ртутью, но избытокъ жидкости перельется въ сосудъ e и выгонитъ остатки воздуха. Потомъ, чрезъ трубку n, запираемую краномъ, выпускаютъ нѣкоторое количество ртути и открываютъ отверстія o и v. Ртуть въ камерѣ a опустится и оставитъ за собою пустое пространство. Трубка d должна быть нѣсколько болѣе 30 дюйм., чтобы ртуть не могла уйти изъ трубки e въ камеру a; ртуть, содержащаяся въ трубкахъ e и d, преграждаетъ наружному воздуху доступъ въ камеру a. Послѣ этой первой операціи, въ камерѣ a остается небольшое количество воздуха. Чтобы усовершенствовать пустоту, запираютъ отверстіе o и вливаютъ ртуть въ воронку h. Ртуть въ камерѣ a подымается и вытѣсняетъ находящійся тамъ газъ, который является въ видѣ пузырька въ трубкѣ d и увлекается ртутью въ трубку e. Затѣмъ, снова отпираютъ кранъ r и выпускаютъ избытокъ ртути. Такое дѣйствіе надо повторить нѣсколько разъ.

Фиг. 196.

131. Описанные барометры неудобны въ томъ отношеніи, что ихъ почти невозможно переносить; поэтому, ученые и механики предлагали разныя системы переносныхъ барометровъ.

Барометръ Фортеня. Главное отличіе барометра Фортеня отъ другихъ барометровъ заключается въ устройствѣ чашки. Она состоитъ изъ двухъ частей: стекляннаго сосуда $CCGH$ (фиг. 197) и мѣднаго $EFGH$, прочно между собою скрѣпленныхъ помощію трехъ винтовъ, изъ которыхъ одинъ CH изображенъ на фигурѣ. Внутри чашки находится деревянный цилиндръ $MMNN$, къ которому привязанъ замшевый мѣшокъ NPN. Этотъ мѣшокъ и часть стекляннаго сосуда $CCGH$ до A наполнены ртутью, въ которую погружена барометрическая трубка xy, книзу суживающаяся. Утолщеніе, сдѣланное на трубкѣ, даетъ возможность привязать къ ней замшу rr, прикрѣпленную къ трубкѣ BB, чтобы воспрепятствовать ртути выливаться изъ чашки, когда баро-

метръ будетъ перевернутъ трубкой yx внизъ; это, однакоже, не препятствуетъ атмосферѣ давить на ртуть чрезъ поры замши. Для наилучшаго сообщенія воздуха, заключеннаго въ чашкѣ CH, съ наружнымъ, въ крышкѣ CC дѣлаютъ отверстіе, за пираемое винтомъ, который отвинчиваютъ передъ началомъ наблюденія. Уровень ртути можно понижать и повышать вращеніемъ винта Q, который проходитъ чрезъ дно EF и упирается въ деревянную часть P, привязанную къ мѣшку. Наконецъ, въ крышку CC вдѣланъ неподвижно штифтъ котораго остріе A, совпадаетъ съ нулемъ шкалы. Когда хотятъ наблюдать, то вращеніемъ винта Q приводятъ поверхность ртути въ прикосновеніе съ остріемъ A; чтобы удовлетворить этому требованію, уровень ртути подымаютъ до тѣхъ поръ, пока остріе A и его изображеніе въ зеркальной поверхности не коснутся другъ друга. За тѣмъ остается только на шкалѣ прочитать высоту ртути. Трубку барометра, для предохраненія отъ толчковъ, заключаютъ въ другую, мѣдную ab (фиг. 198), навинчиваемую на трубку BB (фиг. 197); въ трубкѣ ab дѣлаютъ продольную вырѣзку (фиг. 198), чтобы можно было видѣть ртуть. Съ одной стороны этого разрѣза сдѣланы дѣленія, съ другой зубчатка, по которой, помощію пуговки o съ зубчатымъ колесомъ, можно передвигать обхватывающую часть KK' съ ноніусомъ. Когда барометръ хотятъ перенести, то винтомъ Q (фиг. 198) подымаютъ ртуть до тѣхъ поръ, пока чашка $CCGH$ и барометрическая трубка не наполнятся этою жидкостью. Безъ такой предосторожности, ртуть при переноскѣ будетъ плескаться и легко можетъ пробить верхнюю запаянную часть трубки. Затѣмъ, барометръ перевертываютъ. Для вѣрности наблюденій, необходимо располагать барометръ отвѣсно; съ этою цѣлью его привѣшиваютъ на треножникъ *).



Фиг. 199.

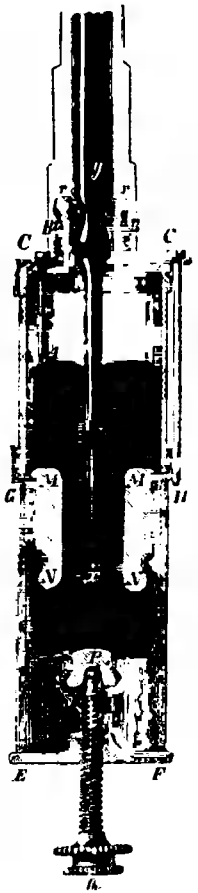
132. Металлическій барометръ Бурдона. Существуютъ приборы, въ которыхъ давленіе атмосферы указывается не высотою столба ртути, а измѣненіемъ формы упругихъ твердыхъ тѣлъ; сюда относится металлическій

*) Барометръ Фортеня представляетъ тѣ же неправильности, какія свойственны вообще всѣмъ барометрамъ съ узкими трубками; кромѣ того, невозможно поручиться, что при переноскѣ не войдетъ воздухъ въ барометрическую пустоту. Построенный мною переносный барометръ (фиг. 199) не имѣетъ упомянутыхъ недостатковъ. Онъ наполняется холодною ртутью и состоитъ изъ двухъ камеръ a и b, соединенныхъ стеклянною трубкой l. Изъ вершины камеры b выходитъ волосная трубка c, оканчивающаяся трубкой d, сверху запаянной. Высота ртути въ барометрѣ опредѣляется по шкалѣ S. Если есть поводъ предполагать, что въ камеру b вошелъ воздухъ, то барометръ надо наклонить. Тогда ртуть изъ камеры a станетъ переходить въ камеру b и вытѣснитъ оттуда воздухъ, по трубкѣ c, въ трубку d. Если теперь барометръ поставить вертикально, то ртуть въ камерѣ b опустится, оставивъ за собою пустое пространство; воздухъ же, удаленный въ трубку d, не

барометръ Бурдона. Существенная часть этого снаряда (фиг. 200) есть латунная, запаянная со всѣхъ сторонъ, плоская трубка AcB, изъ которой вытянутъ воздухъ; она представляетъ почти цѣлый кругъ и въ поперечномъ разрѣзѣ имѣетъ видъ, обозначенный на фигурѣ буквою R. Такая трубка чувствительна къ измѣненію наружнаго давленія. Когда упругость воздуха уменьшается, то она разгибается, а такъ какъ только середина ея c укрѣплена неподвижно, то концы ея A и B удаляются другъ отъ друга. Напротивъ, при увеличеніи упругости воздуха, она закривляется. Перемѣщеніе концовъ трубки сообщается, при помощи стержней r зубчаткѣ m, вращающейся около оси O; чрезъ это приводится въ движеніе шестерня k, на которую насажена стрѣлка sl. Такимъ образомъ, если давленіе атмосферы увеличивается, то трубка закривляется, и конецъ l стрѣлки вращается слѣва направо; при уменьшеніи наружнаго давленія, она получаетъ движеніе обратное. Дѣленія на циферблатѣ обозначаются по сравненію съ хорошимъ ртутнымъ барометромъ и, отъ времени до времени, повѣряются, потому что форма трубки и упругость ея стѣнокъ могутъ отъ чего-либо измѣниться и, дѣйствительно, измѣняются.

Фиг. 200.

Фиг. 198.



Фиг. 197.

Барометръ Бурдона удобенъ для переноски и довольно чувствителенъ.

можетъ возвратиться въ камеру b, будучи отдѣленъ отъ нея ртутью, наполняющею нижнія части трубокъ c и d. Когда барометръ нужно перенести, то его наклоняютъ; вся ртуть изъ камеры a уходитъ и наполняетъ камеру b и трубку d. Тогда стальнымъ краномъ r запираютъ трубку l. Барометръ надо переносить въ горизонтальномъ положеніи.—Снарядъ наполняется холодною ртутью (безъ кипяченія). Для этого, конецъ трубки d оттягивается въ узкій каналъ g. На отверстіе o камеры a надѣваютъ каучуковую трубку, длиною въ 200 — 300 милл., въ другой конецъ

133. Приложенія барометра. Самое важное примѣненіе барометра есть опредѣленіе возвышенія мѣста надъ уровнемъ моря. Было доказано еще Паскалемъ, что, съ поднятіемъ надъ поверхностью земли, давленіе воздуха, а, слѣдовательно, и высота барометра, уменьшаются. Еслибы атмосфера была вездѣ одинаково плотна, то легко было бы. по пониженію ртути въ трубкѣ, найти высоту мѣста. Въ этомъ предположеніи, воздухъ простирался бы только на $7^1/_2$ верстъ, уравновѣшиваясь столбомъ ртути въ 30 дюймовъ; при поднятіи надъ земною поверхностью, ртуть въ барометрѣ опускалась бы равномѣрно, именно пониженію ея уровня на одинъ дюймъ соотвѣтствовала бы 30-тая доля $7^1/_2$ верстъ или 875 футовъ возвышенія мѣста. Но такъ какъ атмосфера вверху рѣже, нежели внизу, то, для пониженія ртути въ барометрѣ на одинъ дюймъ, надо подняться надъ уровнемъ моря не на 875 футовъ, а на 950. Чтобы высота ртути уменьшилась еще на одинъ дюймъ, нужно подняться болѣе, чѣмъ прежде, именно на 975 ф.; для дальнѣйшаго пониженія на дюймъ, надо еще подняться на 1000 ф., и т. д. Это явленіе усложнено еще тѣмъ обстоятельствомъ, что температура атмосферы съ удаленіемъ отъ земли уменьшается. Лапласъ, помощію теоретическихъ соображеній, принимая во вниманіе также многочисленныя данныя изъ опыта, вывелъ такъ называемую *барометрическую формулу*, по которой, зная разность высотъ ртути въ двухъ мѣстахъ, можно вычислить, на сколько одно мѣсто лежитъ выше другого. Поэтому, барометръ употребляется для опредѣленія высоты горъ надъ уровнемъ моря и вообще разности высотъ двухъ точекъ земной поверхности; имъ же пользуются воздухоплаватели для измѣренія высоты своего полета.

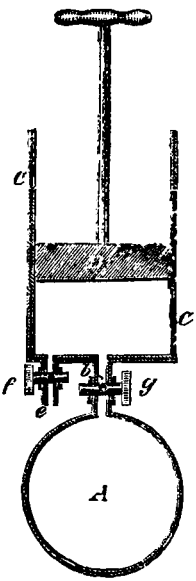
Барометру приписываютъ еще способность предсказывать погоду. Въ Европѣ, особенно по западнымъ берегамъ ея, низкое стояніе ртути обыкновенно сопровождается худою погодою, то есть выпаденіемъ водяныхъ метеоровъ и вѣтрами; когда же ртуть стоитъ высоко, то большею

которой вставляютъ воронку. Воронку подымаютъ—на сколько позволяетъ длина каучуковой трубки—и наполняютъ сухою ртутью. Наблюдатель поворачиваетъ мало-помалу барометръ въ горизонтальное положеніе, двигая нижнюю его часть направо, верхнюю налѣво; въ то же время помощникъ поддерживаетъ воронку со ртутью, такъ чтобы каучуковая трубка была вертикальна. Ртуть переходитъ по трубкѣ l въ камеру b и вытѣсняетъ воздухъ чрезъ трубки c, d и g наружу. Когда ртуть, наполнивъ весь приборъ, подойдетъ къ отверстію g, кранъ r запираютъ, барометръ приводятъ въ отвѣсное положеніе, а отверстіе g запаиваютъ на спиртовой лампѣ. Затѣмъ, опрокинувъ барометръ, выливаютъ всю ртуть изъ камеры a и снимаютъ каучуковую трубку. Барометръ снова перевертываютъ и ставятъ въ вертикальное положеніе. Если теперь отворить кранъ r, то ртуть выливается изъ трубки b, по трубкѣ l, въ камеру a, оставляя за собою пустое пространство, которое тотчасъ же наполняется разрѣженнымъ воздухомъ, прилипшимъ къ стѣнкамъ камеры b. Чтобы удалить его, надо наклонить барометръ, — именно верхнюю часть его,—налѣво и повторить эту операцію нѣсколько разъ.

частію бываетъ погода хорошая, то есть ясная и тихая. Поэтому, на шкалѣ барометровъ пишутъ знаки: весьма сухо, сухо, хорошая погода и т. д. Причина этому слѣдующая. Въ Европѣ, особенно по берегамъ Атлантическаго океана, преобладаютъ два вѣтра: югозападный и сѣверовосточный. Первый тепелъ, потому что идетъ изъ жаркихъ экваторіальныхъ странъ; слѣдовательно, воздухъ, имъ приносимый, легокъ, и по этой причинѣ, когда онъ дуетъ, ртуть въ барометрѣ стоитъ низко; съ другой стороны, находясь долго въ прикосновеніи съ поверхностью Атлантическаго океана, воздухъ напитывается водяными парами, и потому юго-западный вѣтеръ приноситъ водяные метеоры. Напротивъ, сѣверо-восточный вѣтеръ холоденъ и сухъ, потому что притекаетъ изъ странъ полярныхъ и движется по материку, гдѣ онъ не только не запасается парами, но еще теряетъ ихъ; поэтому, сѣверовосточный вѣтеръ по большей части сопровождается высокимъ стояніемъ барометра и ясною погодой. Отсюда видимъ, что показанія барометра въ отношеніи погоды могутъ имѣть только значеніе мѣстное. Въ восточной Россіи и средней Азіи и проч. барометръ не даетъ никакихъ указаній: хорошая погода и равномѣрно худая бываютъ при всякой высотѣ ртути. Въ нѣкоторыхъ мѣстностяхъ, какъ въ Камчаткѣ, Восточной Патагоніи, высокое стояніе барометра сопровождается худою погодою, низкое — хорошею *).

Прибавимъ еще, что быстрое пониженіе ртути указываетъ на сильное нарушеніе равновѣсія атмосферы, для возстановленія котораго требуется перемѣщеніе огромныхъ массъ воздуха, а это всегда разрѣшается бурями.

134. Воздушный насосъ. *Воздушнымъ насосомъ* или *пневматическою* машиною называется приборъ, посредствомъ котораго можно разрѣдить воздухъ. Чтобы легче понять устройство этого весьма важнаго прибора, представимъ себѣ полый шаръ A (фиг. 201), который, чрезъ трубку b, сообщается съ цилиндромъ C, содержащимъ плотно вставленный въ него поршень D. Внутренность цилиндра сообщается съ наружнымъ воздухомъ посредствомъ трубки e, запираемой краномъ f. Трубка b имѣетъ также кранъ g. Пусть поршень касается дна цилиндра. Запираемъ кранъ f и отпираемъ g, и станемъ подымать поршень. Тогда въ цилин-



Фиг. 201.

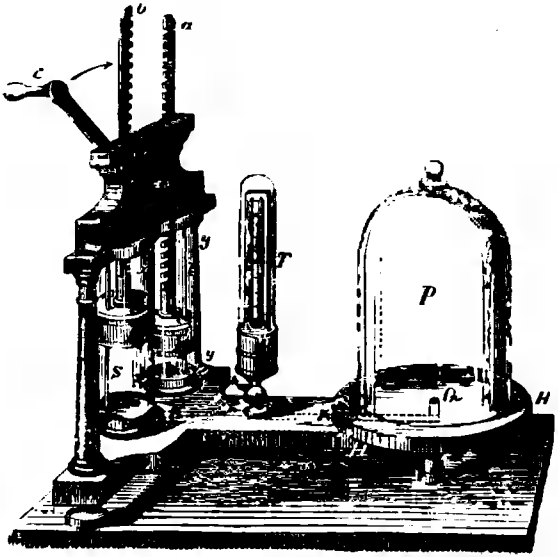
*) Болѣе цѣлесообразное примѣненіе барометра излагается въ той части метеорологіи, которая называется темпестологіею. (См. прибавл. II, въ концѣ этой книги).

дрѣ, подъ поршнемъ образуется пустое пространство; воздухъ, заключенный въ шарѣ A, стремясь занять по возможности большій объемъ и не встрѣчая къ тому сопротивленія, потечетъ въ цилиндръ C, и если вмѣстимость цилиндра, — считая отъ дна его до нижней поверхности поршня, когда онъ находится на наибольшей высотѣ, — равна вмѣстимости шара, то въ шарѣ останется половина прежняго количества воздуха. Затѣмъ, закрывъ кранъ g, отпираемъ f; внѣшній воздухъ, имѣя упругость больше, чѣмъ внутренній, войдетъ въ цилиндръ. Вдвинемъ теперь поршень въ цилиндръ до дна; воздухъ, заключенный въ цилиндрѣ, вытѣснится чрезъ трубку e наружу. Снова запираемъ кранъ f, отпираемъ g и подымаемъ поршень; изъ оболочки A, въ цилиндръ C перейдетъ половина находившагося тамъ воздуха, такъ что въ шарѣ A останется $^1/_4$ первоначальнаго количества воздуха. Эти дѣйствія можно повторить сколько угодно разъ. Послѣ третьяго поднятія поршня, въ шарѣ останется только $^1/_8$ прежняго количества воздуха, послѣ четвертаго $^1/_{16}$ и т. д. Послѣ 20-го—менѣе 0,000001. Еслибы объемъ цилиндра былъ менѣе объема шара, то разрѣженіе происходило бы медленнѣе; при обратныхъ условіяхъ, оно пойдетъ быстрѣе. Однакожь, ни въ какомъ случаѣ, посредствомъ описаннаго прибора, нельзя произвести совершенную пустоту, потому что при каждомъ поднятіи поршня вытягивается только часть оставшагося воздуха. Совершенному разрѣженію препятствуетъ еще слѣдующее обстоятельство.

При опусканіи поршня, воздухъ изъ цилиндра выгоняется не весь; часть его остается въ верхнихъ частяхъ трубокъ e и b и, при поднятіи поршня, разсѣивается въ цилиндрѣ. Отъ этого изъ шара A вытягивается каждый разъ меньшее количество, чѣмъ бы слѣдовало. По мѣрѣ движенія поршня вверхъ и внизъ, вредное вліяніе трубокъ e и b увеличивается и, наконецъ, наступаетъ моментъ, когда воздухъ, содержащійся въ нихъ, будетъ имѣть, распространясь по цилиндру, такую же упругость, какъ и воздухъ въ шарѣ; тогда воздухъ изъ оболочки A вовсе перестанетъ выходить въ цилиндръ, и, слѣдовательно, сколько бы потомъ мы ни двигали поршнемъ, дальнѣйшаго разрѣженія не произойдетъ. Та часть прибора, въ которой собирается воздухъ обыкновенной упругости, недозволяющій доводить разрѣженіе въ шарѣ далѣе извѣстнаго предѣла, называется *вреднымъ пространствомъ*.

135. Нельзя совершенно уничтожить этотъ недостатокъ, но можно значительно его уменьшить разными способами; мы разсмотримъ одинъ изъ нихъ. Для быстрѣйшаго дѣйствія, употребляютъ обыкновенно, вмѣсто одного цилиндра—два. Фигура 202 изображаетъ употребительнѣйшій видъ этого прибора, а фиг. 203—вертикальный разрѣзъ его (оди-

наковыя буквы на обѣихъ фигурахъ означаютъ однѣ и тѣ же части); наконецъ, фиг. 204 представляетъ вертикальный разрѣзъ одного поршня въ большемъ размѣрѣ. Въ стеклянныхъ цилиндрахъ x и y движутся поршни E и F, прикрѣпленные къ зубчаткамъ b и a, которыхъ зубцы захватываются зубчатымъ колесомъ M, приводимымъ въ движеніе рычагомъ cd. Оба цилиндра соединены каналомъ nm, который сообщается другимъ каналомъ KK съ отверстіемъ Q тарелки HH воздушнаго насоса. Каждый поршень состоитъ изъ двухъ пластинокъ X и T, между которыми зажаты кожаные кружки Z. Чрезъ отверстіе въ поршнѣ проходитъ стержень t, который можетъ двигаться съ легкимъ треніемъ и оканчивается металлической пробкой q. Въ поршнѣ есть полость ur, сообщающаяся съ одной стороны съ наружнымъ воздухомъ, а съ другой—съ внутренностью цилиндра чрезъ отверстіе u, запираемое пробкой, на которую давитъ пружина r.



Фиг. 202.

Смазавъ саломъ края стекляннаго колокола P, придавливаютъ его къ тарелкѣ воздушнаго насоса, чтобы не было сообщенія съ внѣшнимъ воздухомъ. Пусть рычагъ cd, а вмѣстѣ съ нимъ и зубчатое колесо M, повертываютъ по направленію, показанному стрѣлкою. Отъ этого поршень F будетъ опускаться, повлечетъ за собою стержень t, который, помощію пробки q, закроетъ отверстіе n въ каналъ nK и остановится, между тѣмъ какъ поршень F будетъ двигаться до дна цилиндра yy; воздухъ, заключенный въ этомъ цилиндрѣ, сгустится, подыметъ клапанъ ur и выйдетъ наружу. Въ то же время отверстіе u въ другомъ поршнѣ E будетъ, чрезъ давленіе пружины и наружнаго воздуха, закрыто пробкой; этотъ поршень, подымаясь, оставитъ за собой пустое пространство; вмѣстѣ съ тѣмъ, будетъ поднятъ стержень s, который, ударившись верхнимъ концомъ своимъ въ крышку насоса, остановится. Тогда отверстіе m откроется, и часть воздуха изъ подъ колокола P,

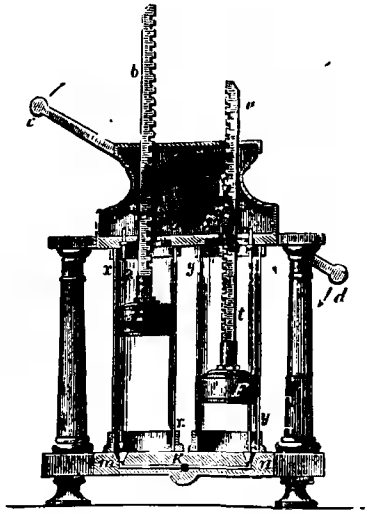
по каналамъ *KK* и *Km*, перейдетъ въ пустоту цилиндра *xx*. Такимъ образомъ, въ обоихъ насосахъ происходятъ явленія обратныя: когда изъ одного воздухъ выталкивается, въ другой изъ-подъ колокола втягивается. При движеніи рычага *cd* въ противную сторону, насосы мѣняются своими дѣйствіями: въ цилиндрѣ *xx* отверстіе *m* въ каналъ *mK* закроется, клапанъ въ поршнѣ *E* откроется, и воздухъ вытолкнется наружу; въ поршнѣ же *F* клапанъ *u* закроется, отверстіе *n* откроется, и воздухъ изъ колокола, по каналамъ *KK* и *Kn*, потечетъ въ образовавшуюся опять пустоту подъ поршнемъ *F*. Продолжая такимъ образомъ качать рычагъ *cd*, будемъ постепенно вытягивать воздухъ изъ колокола *P*.

Когда должно впустить воздухъ въ колоколъ, то отвинчиваютъ въ трубкѣ *K*, винтъ, который на фигурѣ не показанъ.

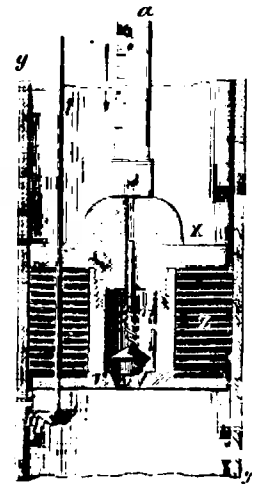
Вытянуть воздухъ совершенно нельзя,—можно только въ большей или меньшей степени его разрѣдить; степень упругости оставшагося воздуха измѣряеття *манометромъ T* (фиг. 202). Этотъ приборъ состоитъ изъ сифонной стеклянной короткой трубки, прикрѣпленной къ металлической шкалѣ, и заключенъ въ стеклянный колоколъ, который, посредствомъ крана *h*, можетъ быть сообщенъ съ каналомъ *K*; все закрытое колѣно сифона и нижнюю часть открытаго колѣна наполняютъ ртутью. Если воздухъ обыкновенной упругости давитъ въ открытый конецъ сифона, то ртуть изъ другого колѣна не выливается, потому что это колѣно не болѣе 6 дюймовъ; но какъ скоро разрѣдимъ воздухъ, то ртуть въ открытой части сифона подымется, въ закрытой же опустится; если бы образовалось совершенно пустое пространство, то въ обоихъ колѣнахъ ртуть стояла бы на одной высотѣ, потому что ни съ той, ни съ другой стороны не было бы никакого давленія. Въ лучшихъ машинахъ ртуть въ закрытомъ колѣнѣ, при наибольшемъ разрѣженіи, стоитъ выше покрайней мѣрѣ на $^1/_2$ линіи. Разность высотъ ртути въ манометрѣ измѣряетъ упругость воздуха подъ колоколомъ воздушнаго насоса. Когда, напримѣръ, въ закрытомъ колѣнѣ ртуть стоитъ на высотѣ 26 линій, а въ открытомъ на 25, то упругость разрѣженнаго воздуха уравновѣшивается вѣсомъ столба ртути высотою въ одну линію; еслибы наша атмосфера имѣла эту упругость, то въ барометрѣ ртуть стояла бы на высотѣ 1 линіи, а не 30 дюймовъ, какъ теперь.

136. Кранъ Бабинé. Бабинé предложилъ небольшое измѣненіе въ устройствѣ пневматической машины, главнѣйшимъ образомъ, заключающееся въ особенномъ кранѣ, помощію котораго можно производить столь сильныя разрѣженія, что разность высотъ ртути въ обоихъ колѣнахъ едва замѣтна. Кранъ этотъ представленъ на фигурахъ 205 и 206 въ разрѣзѣ *CED*, пер-

пендикулярномъ къ длинѣ, а на фигурѣ 207 — въ перспективѣ. Онъ устанавливается въ томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ сходятся каналы *nm* и *KK* (фиг. 203),

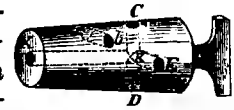


Фиг. 203.



Фиг. 204.

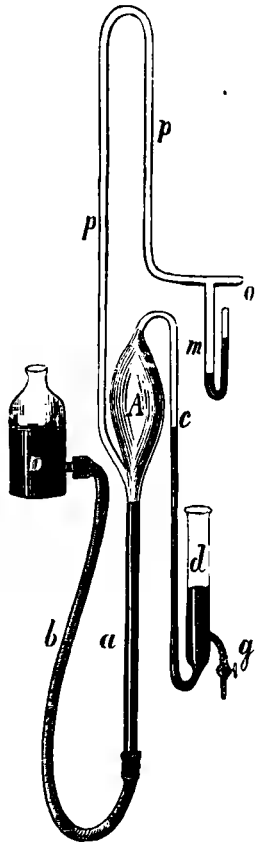
и имѣетъ по направленію оси каналъ *KK* (фиг. 207), начинающійся почти отъ средины крана и сообщающійся съ одной стороны съ тарелкой воздушнаго насоса, съ другой — съ двумя каналами *KE* и *CD*, перпендикулярными къ длинѣ крана и между собою. Кромѣ того, въ кранѣ есть еще одинъ каналъ *ab*, не сообщающійся съ центральнымъ *KK*. Оба



Фиг. 207.

насоса *x* и *y* соединены между собою каналами *nrm* и *lpm* (фиг. 205, 206), сдѣланными въ металлической доскѣ и не лежащими въ одной плоскости. При положеніи крана, показанномъ на фигурѣ 205, каналъ *lpm* закрытъ, и цилиндры сообщаются чрезъ каналы *nrm* и *CD*; тогда насосъ дѣйствуетъ, какъ обыкновенно. Когда достигли наибольшаго разрѣженія, къ какому только насосъ способенъ, то есть, когда воздухъ, собравшійся во вредномъ пространствѣ, не можетъ поднять клапана, чтобы выйти наружу, то кранъ поворачиваютъ на 90° по направленію, показанному стрѣлкой, чтобы онъ пришелъ въ положеніе, изображенное на фигурѣ 206. Тогда насосъ *x* будетъ отдѣленъ отъ тарелки воздушнаго насоса и соединенъ каналами *lpm* и *ab* съ цилиндромъ *y*, который теперь сообщается съ тарелкой чрезъ каналы *nr E* и *EK*. Ели поршень въ цилиндрѣ *x* опускается, а въ *y* подымается, то отверстіе *m* закроется, *n* откроется, и воздухъ изъ подъ колокола воздушнаго насоса потечетъ въ цилиндръ *y*; при обратномъ движеніи поршней, отверстіе *n* закроется, *m* откроется, и воздухъ перегонится по каналу *lpm* изъ *y* въ насосъ *x*, гдѣ, слѣдовательно, количество воздуха, оставшагося во вредномъ пространствѣ, отъ того увеличится, такъ что, при опусканіи поршня *x*, воздухъ уже будетъ въ состояніи преодолѣть сопротивленіе клапана и давленіе атмосферы, чтобы выйти наружу. Къ оставшемуся, послѣ того, воздуху во вредномъ пространствѣ цилиндра *x* присоединится снова воздухъ изъ насоса *y*, при послѣдующемъ колебаніи

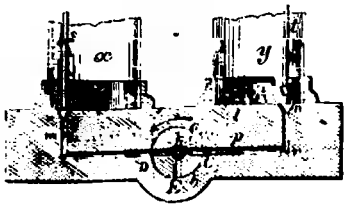
поршней, и т. д. Такимъ образомъ, насосъ y вытягиваетъ воздухъ изъ подъколокола воздушнаго насоса и выталкиваетъ его въ насосъ x, изъ котораго онъ выгоняется наружу. Разрѣженіе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока къ воздуху, заключенному въ насосѣ x, не перестанетъ притекать новый воздухъ изъ насоса y; а это случится въ ту пору, когда воздухъ, находящійся во вредномъ пространствѣ насоса y и соединительномъ каналѣ lpm, будетъ имѣть ту же упругость, какъ воздухъ, наполняющій цилиндръ x при наибольшей высотѣ поршня въ этомъ цилиндрѣ. Такимъ образомъ, воздухъ, заключенный во вредномъ пространствѣ насоса y, при опусканіи поршня до дна, имѣетъ весьма слабую упругость, между тѣмъ, какъ въ обыкновенныхъ насосахъ, безъ крана Бабинé, этотъ воздухъ— такой же упругости, какъ и наружный. Отсюда ясно видна выгода измѣненія, сдѣланнаго Бабинé въ пневматической машинѣ.



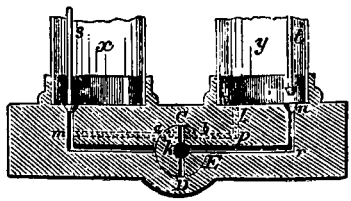
Фиг. 208.

137. Ртутные насосы. Изъ многихъ ртутныхъ насосовъ, мы опишемъ здѣсь ртутный насосъ проф. Менделѣева. Яйцевидный сосудъ A (фиг. 208) сообщается стеклянною трубкою a и каучуковой b со склянкой B, наполненной ртутью. Тонкая трубка c (1^{mm} въ діаметрѣ) выходитъ изъ вершины сосуда A, изгибается внизъ и оканчивается широкой трубкой d, загнутой кверху. Изъ нижней части сосуда A выходитъ еще трубка p, направляется вверхъ, потомъ спускается и, наконецъ, загибается подъ прямымъ угломъ; отверстіе ея o сообщается съ тѣмъ сосудомъ, изъ котораго желаемъ вытянуть воздухъ. Подымаютъ сосудъ B; содержавшаяся въ немъ ртуть переливается по трубкамъ b и a въ сосудъ A и вытѣсняетъ оттуда чрезъ трубку c воздухъ, который выходитъ въ видѣ пузырьковъ изъ ртути въ трубкѣ d. Потомъ, сосудъ B опускаютъ. Ртуть изъ сосуда A выливается въ сосудъ B и оставляетъ за собою пустое пространство, въ которое устремляется по трубкѣ p воздухъ, или другой разрѣжаемый газъ. Въ то же время, вслѣдствіе наружнаго давленія, ртуть изъ трубки d подымается въ c и преграждаетъ сообщеніе сосуда A съ наружнымъ воздухомъ. При этомъ часть ртути сосуда d можетъ перелиться въ сосудъ A, но не вся, потому что трубка c имѣетъ болѣе 31 дюйма длины—наибольшаго давленія атмосферы. Снова подымаютъ сосудъ B; ртуть опять войдетъ въ сосудъ A и снова вытѣснитъ оттуда чрезъ трубку c наружу тотъ воздухъ, который передъ этимъ вошелъ въ сосудъ A чрезъ трубку p. Повторяя тѣ же дѣйствія (т. е. подымая и опуская сосудъ B), можно получить почти совершенную пустоту.— Трубка p должна подыматься надъ сосудомъ A болѣе, чѣмъ на 31 дюймъ; иначе, ртуть можетъ перелиться чрезъ вершину трубки p. Къ трубкѣ d полезно придѣлать трубку g съ краномъ для выпусканія избытка ртути. Манометръ m служитъ для измѣренія упругости оставшагося газа.

Ртутнымъ насосомъ достигается бо́льшая степень разрѣженія, чѣмъ обыкновенными пневматическими машинами, потому что въ немъ нѣтъ вреднаго пространства. Кромѣ того, въ поршневыхъ машинахъ, масло, которымъ смазываются поршни и цилиндры, даетъ пары, и упругость разрѣжаемаго газа не можетъ сдѣлаться менѣе упругости паровъ масла, какъ бы ни была хороша пневматическая машина. Наконецъ, пары масла проникаютъ въ сосудъ съ разрѣжаемымъ газомъ и измѣняютъ его составъ. Въ ртутныхъ насосахъ, при соблюденіи надлежащей предосторожности, остаются только пары ртути, упругость которыхъ чрезвычайно мала, при обыкновенной комнатной температурѣ.



Фиг. 205.

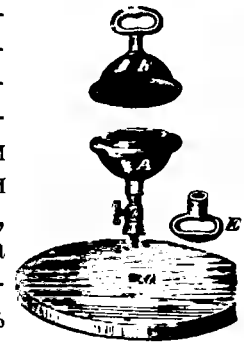


Фиг. 206.

138. Опыты съ воздушнымъ насосомъ. Съ воздушнымъ насосомъ можно дѣлать множество поучительныхъ опытовъ.

1) Если подъ колоколомъ воздушнаго насоса разрѣдить воздухъ до возможно большей степени, то изнутри стѣнки колокола будутъ испытывать весьма слабое давленіе, измѣряемое разностью высотъ ртути въ манометрѣ, между тѣмъ какъ снаружи будетъ давить атмосфера. Чтобы снять колоколъ съ тарелки, надо употребить весьма большую силу, именно равную вѣсу ртутнаго столба, котораго основаніе равно отверстію колокола, а высота—разности показаній барометра и манометра.

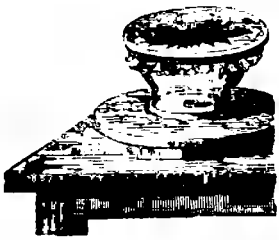
2) Приборъ, извѣстный подъ именемъ *магдебургскихъ полушарій*, состоитъ изъ двухъ полыхъ металлическихъ полушарій A и B (фиг. 209), которыя плотно складываются краями; одно изъ нихъ A имѣетъ трубку c съ краномъ. Смазавъ края полушарій саломъ и сложивъ ихъ вмѣстѣ, привинчиваютъ трубку c къ отверстію Q тарелки воздушнаго насоса. Потомъ, вытянувъ воздухъ, запираютъ кранъ, отвинчиваютъ отъ тарелки трубку c и навинчиваютъ на нее ручку E. Внутреннія стѣнки полушарій испытываютъ весьма слабое давленіе, между тѣмъ какъ на наружныя стѣнки атмосфера производитъ столь сильное давленіе, что, при достаточной величинѣ полушарій, разорвать ихъ весьма трудно.



Фиг. 209.

Магдебургскія полушарія названы такъ въ честь изобрѣтателя этого прибора и воздушнаго насоса, Отто фонъ Герике изъ Магдебурга. Пер-

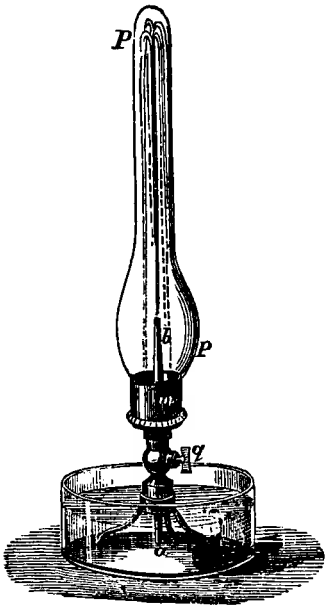
вый опытъ былъ произведенъ въ Вормсѣ; полушарія были взяты довольно большія, такъ что 24 лошади не могли ихъ разнять.


Фиг. 210.

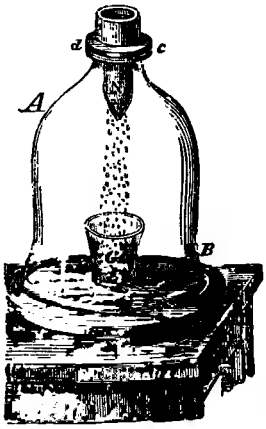
3) Берутъ стеклянный сосудъ (фиг. 210), безъ дна, и обвязавъ верхнее его отверстіе пузыремъ, ставятъ на тарелку воздушнаго насоса. При вытягиваніи воздуха изъ сосуда, пузырь вдавливается и иногда лопается съ сильнымъ трескомъ.

4) Къ металлической оправѣ b (фиг. 211), установленной на треножникѣ, придѣлываютъ прочно стеклянный колпакъ PP. По всей длинѣ металлической оправы m, идетъ каналъ, запираемый краномъ q и оканчивающійся съ одной стороны тонкой трубкой b, съ другой — широкой трубкой a. Когда хотятъ производить опытъ, то, отвинтивъ подставку, привинчиваютъ верхнюю часть прибора къ отверстію тарелки воздушнаго насоса и, отворивъ кранъ q, вытягиваютъ воздухъ изъ колпака P. Потомъ, кранъ q запираютъ, привинчиваютъ подставку и, поставивъ приборъ въ сосудъ съ водою, отворяютъ кранъ q. Тогда вода, отъ давленія атмосферы, устремляется, чрезъ трубки a и b, подъ колпакъ P и даетъ фонтанъ.

5) Стеклянный колоколъ AB (ф. 212), имѣющій вверху отверстіе, придавливаютъ къ тарелкѣ воздушнаго насоса; на отверстіе накладываютъ металлическую пластинку cd, чрезъ которую проходитъ деревянная пробка N съ чашечкой. Въ послѣднюю наливаютъ ртути и изъ подъ колокола вытягиваютъ воздухъ; атмосфера, не встрѣчая почти никакого сопротивленія со стороны внутренняго воздуха, продавливаетъ ртуть чрезъ пробку.



Фиг. 211.



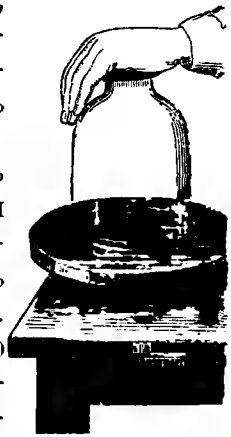
Фиг. 212.

6) Стеклянный шаръ A (ф. 178) привѣшиваютъ, за крючекъ b, къ чашкѣ вѣсовъ и взвѣшиваютъ. Отвинтивъ потомъ отъ оправы верхнюю часть прибора, привинчиваютъ

шаръ къ отверстію тарелки воздушнаго насоса и вытягиваютъ по возможности болѣе воздуха; потомъ, снявъ шаръ съ тарелки и привинтивъ къ нему верхнюю часть, снова взвѣшиваютъ. Тогда оказывается, что шаръ сдѣлался немного легче. Слѣдовательно, воздухъ имѣетъ вѣсъ [118].

7) При помощи пневматической машины, можно доказать упругость воздуха [121]. Берутъ пузырь изъ непроницаемой для газа оболочки, съ краномъ въ металлической оправѣ, впускаютъ немного воздуха и, закрывъ кранъ, кладутъ подъ колоколъ воздушнаго насоса или въ сосудъ (фиг. 1), закрываемый стеклянной толстой пластинкой; по мѣрѣ вытягиванія воздуха, пузырь раздувается. Изъ этого выходитъ, что газы, не удерживаемые давленіемъ извнѣ, стараются занять большій объемъ, то есть обладаютъ упругостью.

8) Если закрыть рукою верхнее отверстіе сосуда безъ дна (фиг. 213), поставленнаго на тарелку воздушнаго насоса, и вытягивать воздухъ, то кровь, находясь подъ неравными давленіями сверху и снизу, надуваетъ кожу, и даже выступаетъ чрезъ ея поры. Чтобы снять руку съ сосуда, потребно большое усиліе.



Фиг. 213.

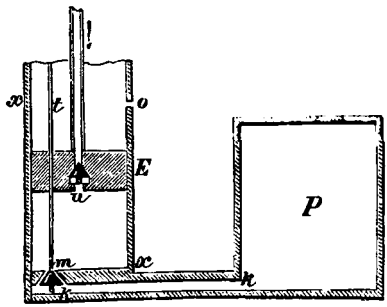
9) Теплокровное животное, помѣщенное подъ колоколъ воздушнаго насоса, гдѣ потомъ разрѣдили воздухъ, скоро умираетъ. Болѣе выдерживаютъ рыбы и гады. Насѣкомыя могутъ нѣсколько дней жить въ пустотѣ, повидимому, безъ всякаго для себя вреда.

10) Если поставить подъ колоколъ свѣчку, то она, при разрѣженіи воздуха, потухнетъ; дымъ, образующійся при этомъ, идетъ внизъ, а не подымается, какъ бываетъ на обыкновенномъ воздухѣ.

139. Нагнетательный насосъ. *Нагнетательный насосъ* имѣетъ назначеніе сгущать воздухъ и состоитъ изъ полаго цилиндра AB (фиг. 214), въ которомъ движется, посредствомъ рукоятки D, поршень C. Послѣдній имѣетъ отверстіе, закрываемое клапаномъ m изъ непроницаемой для воздуха тафты, или клеенки, приклеенной только двумя краями къ поверхности поршня. Въ дно цилиндра вдѣлана трубка p, имѣющая на внѣшней поверхности винтовые нарѣзы, и которой отверстіе закрывается также тафтянымъ клапаномъ n. Если хотятъ сгустить воздухъ, напр. въ шарѣ E, то ввинчиваютъ трубку p въ оправу шара и вдвигаютъ поршень; тогда воздухъ въ цилиндрѣ сгустится, закроетъ клапанъ m, приподыметъ n и войдетъ въ шаръ. Поршень доводятъ до дна цилиндра и выдвигаютъ его назадъ. Отъ этого, подъ пор-

шнемъ образуется пустота; воздухъ въ шарѣ, стремясь, вслѣдствіе упругости, занять большее пространство, будетъ давить на клапанъ n и закроетъ его, а внѣшній воздухъ откроетъ клапанъ m и войдетъ въ цилиндръ. При вторичномъ вдвиганіи поршня, воздухъ цилиндра снова вгонится въ шаръ. Такимъ образомъ, упругость воздуха въ шарѣ будетъ все болѣе и болѣе увеличиваться, но не далѣе извѣстнаго предѣла, по причинѣ существующаго здѣсь вреднаго пространства. Пусть поршень уже сдѣлалъ нѣсколько колебаній; если при новомъ его движеніи отъ A до B случится, что воздухъ, помѣстясь во вредномъ пространствѣ, будетъ имѣть такую же или меньшую упругость, нежели воздухъ въ шарѣ E, то клапанъ n не откроется, и, слѣдовательно, упругость въ E не измѣнится. При обратномъ движеніи поршня, отъ B къ A, газъ изъ вреднаго пространства, разойдясь по цилиндру, будетъ имѣть упругость, равную или большую упругости наружнаго воздуха, который поэтому не будетъ въ состояніи поднять клапанъ m и войти въ цилиндръ. Отсюда понятно, что въ разсматриваемомъ случаѣ дальнѣйшее сгущеніе въ шарѣ E невозможно.

Когда газъ требуется сгустить весьма сильно, то тафтяные клапаны не годятся, потому что при большихъ давленіяхъ прорываются. Тогда лучше употреблять коническія пробки, какъ въ пневматической машинѣ, но только иначе расположенныя. При опусканіи поршня E (фиг. 215), пробка u прекращаетъ сообщеніе наружнаго воздуха съ внутренностью цилиндра xx; въ то же время пробка m, прикрѣпленная къ стержню t, открываетъ отверстіе въ каналъ kk, и воздухъ вталкивается въ резервуаръ P. При движеніи поршня E вверхъ, пробка m подымется, закроетъ отверстіе въ каналъ kk и остановится, такъ что воздухъ изъ сосуда P, чрезъ это отверстіе не можетъ проникнуть въ цилиндръ xx. Между тѣмъ клапанъ u откроется и пропуститъ во внутренность цилиндра xx внѣшній воздухъ, который, при слѣдующемъ пониженіи поршня E, перегонится въ резервуаръ P. Иногда поршень дѣлаютъ сплошной, но тогда въ верхней части цилиндра, съ боку дѣлается отверстіе O, чрезъ которое входитъ наружный воздухъ, когда поршень подымается до наибольшей высоты.



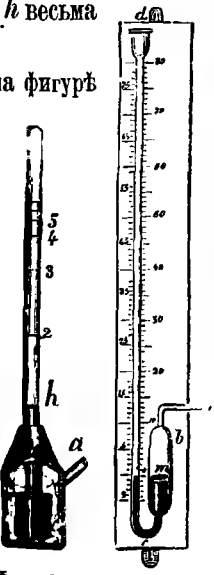
Фиг. 215.

Для быстроты дѣйствія, соединяютъ вмѣстѣ два насоса, какъ въ пневматической машинѣ; стеклянный резервуаръ P, въ которомъ сгущаютъ воздухъ, прикрѣпляютъ винтами къ тарелкѣ и обтягиваютъ металлической сѣткой, чтобы, въ случаѣ разрыва, задержать крупные куски стекла.

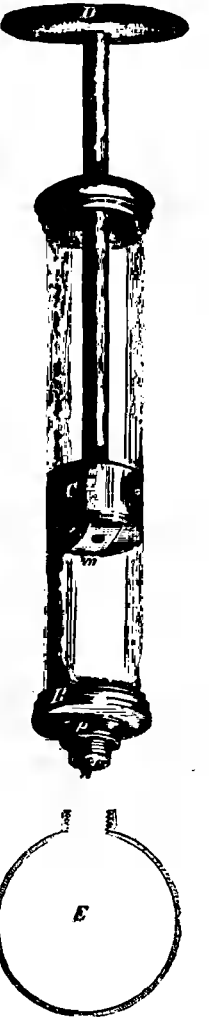
140. Степень упругости сжатаго газа измѣряется *манометрами*, которые бываютъ разнаго устройства.

Манометръ со ртутью. Въ стеклянный сосудъ погружаютъ открытый конецъ стеклянной трубки h (фиг. 216), запаянной съ другого конца и наполненной сухимъ воздухомъ. Сосудъ и нижняя часть трубки заключаются въ бронзовый футляръ c, такъ чтобы не было сообщенія съ наружнымъ воздухомъ. Этотъ футляръ соединяютъ трубкой a съ резервуаромъ, въ которомъ сгущается газъ. Когда упругость газа равна одной атмосферѣ, то ртуть въ трубкѣ h и въ чашкѣ должна стоять на одной высотѣ. По мѣрѣ сгущенія, ртуть станетъ переходить изъ чашки въ трубку; основываясь на законѣ Маріотта, разчисляютъ, на сколько она должна подниматься. Потомъ, пишутъ цифры 1, 2, 3, 4,..... выражающія въ атмосферахъ упругость газа. Этотъ манометръ при большихъ давленіяхъ весьма не чувствителенъ, потому что дѣленія въ верхней части трубки h весьма малы.

141. Манометръ, изображенный на фигурѣ 217, не имѣетъ этого недостатка, хотя и менѣе удобенъ, потому что, при измѣреніи сильныхъ сгущеній, долженъ быть весьма высокъ. Онъ состоитъ изъ сифонной трубки dcb, которой короткое колѣно b расширено и сообщено трубкою a съ резервуаромъ, содержащимъ сгущенный газъ, а другое cd—на верху d открыто. Въ трубку налита ртуть, которая будетъ стоять на одной и той же высотѣ въ обоихъ колѣнахъ, когда упругость газа равна одной атмосферѣ. По мѣрѣ сгущенія газа, ртуть въ колѣнѣ cd подымается; разность высотъ въ колѣнахъ cb и cd покажетъ, на сколько газъ упруже атмосфернаго воздуха.



Фиг. 216. Фиг. 217.



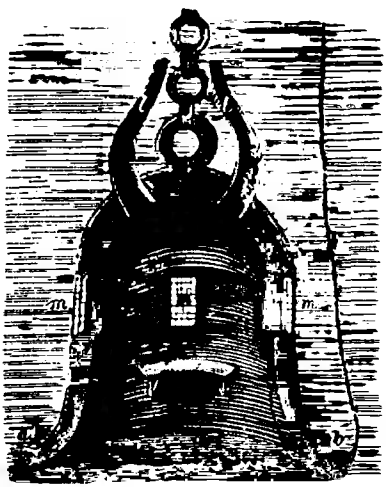
Фиг. 214.

142. Манометръ Бурдона. Манометръ Бурдона основанъ на томъ началѣ, что металлическая залаянная съ одного конца d кривая трубка $acbd$ (фиг. 218), при сгущеніи содержащагося въ ней воздуха, распрямляется, а при разрѣженіи закривляется. Въ c она прикрѣпляется къ металлической доскѣ и сообщается чрезъ открытый конецъ a съ резервуаромъ, въ которомъ сгущаютъ газъ. Когда трубка распрямляется, то конецъ ея d заставляетъ, помощію прута r, вращаться около точки

o стрѣлку *t*, которая указываетъ на дугѣ *mn* (фиг. 219) дѣленія, означающія, сколькимъ атмосферамъ равна упругость газа. Дѣленія дѣлаются по сравненію съ хорошимъ ртутнымъ манометромъ. Наконецъ, трубку *acbd* (фиг. 218), для предохраненія ея отъ порчи, заключаютъ въ металлическій футляръ (фиг. 219). Этотъ манометръ весьма удобенъ для употребленія и безопасенъ, потому что можетъ выдержать огромныя давленія.

143. Приложенія. Упругостью сжатаго воздуха нерѣдко пользуются для произведенія механическаго дѣйствія. Иногда приводятъ въ движеніе машины, которыя имѣютъ устройство, подобное паровымъ; самые нагнетательные насосы управляются паденіемъ воды, вѣтромъ или какою либо другою силою.

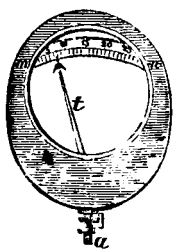
На томъ же началѣ основано устройство водолазнаго колокола, употребляемаго для подводныхъ работъ. Онъ состоитъ изъ желѣзнаго колокола или ящика *abc* (фиг. 220), снизу открытаго и прикрѣпленнаго, помощію кольца *c*, къ цѣпи, или канату. Колоколъ вмѣстѣ съ рабочимъ, который помѣщается на лавкѣ внутри, опускается въ воду. Воздухъ, содержащійся въ колоколѣ, нѣсколько сжимается давленіемъ воды, но не позволяетъ ей наполнить весь приборъ, такъ что водолазъ, опустясь на дно водоема и производя тамъ работу, остается все время въ атмосферѣ воздуха. Свѣтъ проникаетъ чрезъ толстыя стекла *m*, вставленныя въ крышку или бока ящика. Впрочемъ, на значительной глубинѣ, по причинѣ недостаточной прозрачности воды, бываетъ весьма темно, такъ что приходится зажигать свѣчи. Такъ какъ воздухъ отъ дыханія и горѣнія дѣлается негоднымъ для того и другого, и какъ сверхъ того нижняя часть колокола наполняется болѣе или менѣе водою, которая мѣшаетъ работать, то воздухъ постоянно накачиваютъ чрезъ каучуковыя трубки *l* съ берега, или судна помощію нагнетательнаго насоса. Такимъ образомъ, свѣжій воздухъ прибываетъ въ верхнюю часть колокола, а испорченный удаляется внизъ и подымается чрезъ воду въ видѣ пузырей. Когда рабочій желаетъ, чтобы колоколъ вытащили, то посредствомъ веревки *h* даетъ условный сигналъ.



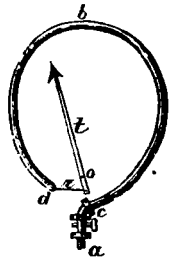
Фиг. 220.

На упругости сжатаго воздуха основано устройство духового ружья, кото-

раго главнѣйшая часть есть резервуаръ R (фиг. 221) съ клапаномъ, отпирающимся во внутрь. Въ резервуаръ, чрезъ придѣланный къ нему стволъ t, вталкиваютъ, помощію поршня p, воздухъ. Потомъ, поршень вынимаютъ и вгоняютъ въ въ стволъ пулю. Если теперь нажать на язычекъ S, то клапанъ откроется, сгущенный воздухъ резервуара R, вслѣдствіе своей упругости, вытолкнетъ пулю и сообщитъ ей тѣмъ большую скорость, чѣмъ болѣе его упругость.

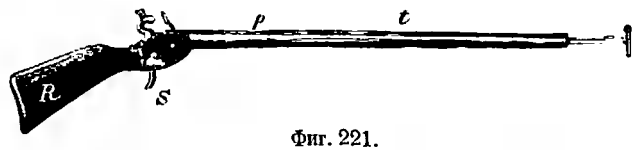


Фиг. 219.



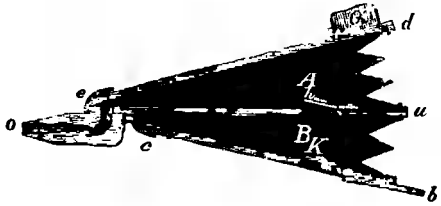
Фиг. 218.

Въ общежитіи нерѣдко употребляютъ *мѣхи*—особенный приборъ для произведенія струи воздуха. Онъ состоитъ изъ двухъ деревянныхъ досокъ a и b (фиг. 222), образующихъ вмѣстѣ съ прикрѣпленною къ нимъ кожею m запертое пространство B. Доска b можетъ вращаться около точки c; въ K находится клапанъ, отпирающійся внутрь. Если повернуть доску b вверхъ, то наружный воздухъ подыметъ клапанъ K и войдетъ въ пространство B. При обратномъ движеніи доски b, воздухъ будетъ выгоняться чрезъ узкое отверстіе O наружу. Въ этомъ случаѣ получается струя прерывистая; струю, болѣе равномѣрную, даютъ двойные мѣхи (фиг. 223). Они состоятъ изъ двухъ простыхъ мѣховъ bca и dea; доски b и d вращаются около точекъ c и e. Когда доска b подымается, то клапанъ K запирается, и воздухъ изъ пространство B перегоняется въ A. При опусканіи доски b, клапанъ h запирается, а K отворяется, и наружный воздухъ входитъ въ B, между тѣмъ какъ изъ A воздухъ, давленіемъ груза Q, выгоняется чрезъ отверстіе O наружу.



Фиг. 221.

Фиг. 222.

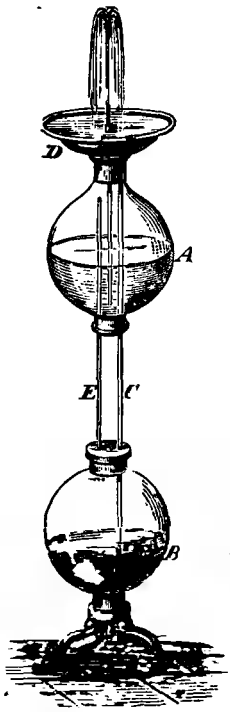


Фиг. 223.

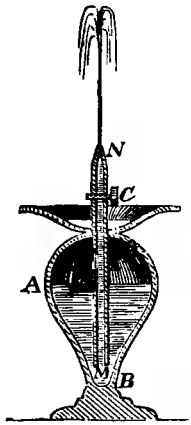
Животныя, помѣщенныя въ сгущенномъ воздухѣ, если сгущеніе не очень велико, не испытываютъ, повидимому, никакого стѣсненія. Работники, находящіеся въ водолазномъ колоколѣ, когда воздухъ сгущаютъ даже до 3 атмосферъ, также не ощущаютъ ничего особеннаго, только нѣкоторые изъ нихъ чувствуютъ боль въ ушахъ, которая впрочемъ скоро проходитъ. Та же боль замѣчается при переходѣ изъ воздуха сгущеннаго въ обыкновенный. Горѣніе въ сгущенномъ воздухѣ совершается съ большою силою.

144. Героновъ шаръ. Шаръ Герона, изображенный на фиг. 224 въ разрѣзѣ и на фигурѣ 225—въ перспективѣ, состоитъ изъ стекляннаго, или металлическаго сосуда AB, въ который наливаютъ воды до $^2/_3$ его высоты; потомъ, привинчиваютъ трубку MN съ краномъ C, а къ трубкѣ—нагнетательный насосъ, и вталкиваютъ воздухъ, который будетъ проходить въ видѣ пузырей чрезъ воду и собираться надъ ея поверхностью. Затворивъ кранъ C, насосъ отвинчиваютъ. Тогда сжатый воздухъ будетъ давить на поверхность воды, и если открыть кранъ, то вода станетъ выходить въ видѣ фонтана.

145. Героновъ фонтанъ. Героновъ фонтанъ состоитъ изъ двухъ вмѣстилищъ A и B (фиг. 226), сообщающихся трубками E и C, и чашки D. Въ сосудъ A и чашку D наливаютъ воды. Изъ чашки D вода стекаетъ внизъ, по трубкѣ C, въ сосудъ B, изъ котораго выгоняетъ воздухъ чрезъ трубку E въ сосудъ A; здѣсь воздухъ сгущается и давленіемъ на воду заставляетъ ее выходить по средней трубкѣ въ видѣ фонтана.



Фиг. 226.



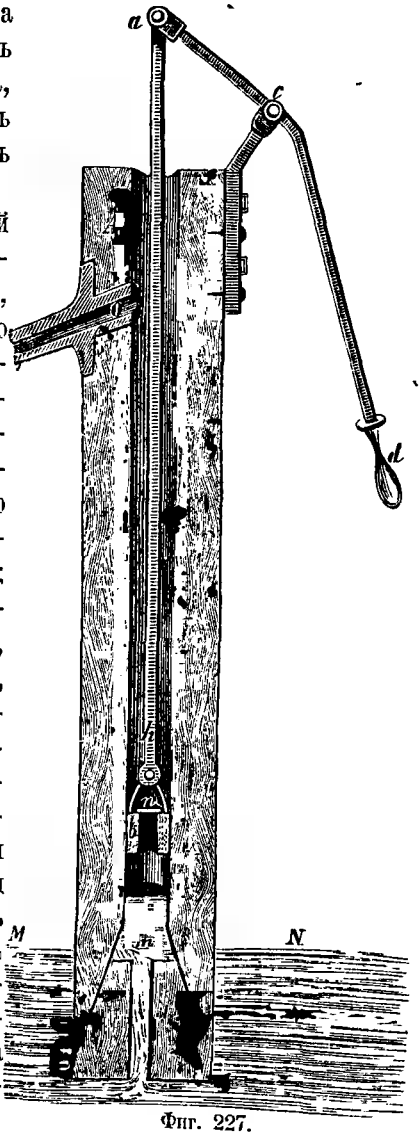
Фиг. 224.

Фиг. 225.

146. Всасывающій водяной насосъ. Для поднятія воды изъ рѣкъ, и колодцевъ употребляется снарядъ, извѣстный подъ именемъ *всасывающаго водяного насоса*. Въ просверленномъ бревнѣ или вообще въ поломъ цилиндрѣ A (фиг. 227) находится поршень b, который можно подымать и опускать, посредствомъ стержня ah и прикрѣпленнаго къ нему рычага acd, вращающагося около точки c. Цилиндръ A погружается въ бассейнъ воды MN. Каналъ, сдѣланный внизу цилиндра, закрывается сверху кожанымъ клапаномъ m; такой же клапанъ n запираетъ отверстіе въ поршнѣ b. Если станемъ подымать поршень, налегая на конецъ d рычага, то внѣшній воздухъ захлопнетъ клапанъ n, между тѣмъ какъ, отъ давленія атмосферы на поверхность MN водоема, клапанъ m откроется, и вода войдетъ въ пустоту цилиндра. Когда станемъ потомъ опускать

поршень, то вода, выливаясь изъ цилиндра, закроетъ клапанъ m; поршень b погрузится въ воду, которая осталась въ насосѣ, и вода, поднявъ клапанъ n, перейдетъ на верхъ поршня. Подымая поршень опять вверхъ, подымемъ вмѣстѣ съ нимъ и эту воду, а образовавшаяся подъ нимъ пустота снова наполнится водою изъ бассейна MN. При слѣдующемъ опусканіи поршня, мы снова заставимъ воду перейти на верхъ поршня. Повторяя качанія рычага, мы достигнемъ того, что жидкость подымется до отверстія O и будетъ чрезъ него выливаться.

147. Насосъ всасывающій и толкающій. Когда нужно поднять воду на высоту очень большую, напр., въ верхній этажъ дома, то употребляютъ *всасывающій и вмѣстѣ толкающій* или *нагнетательный водяной насосъ*. Въ полномъ цилиндрѣ AA (фиг. 228) двигается поршень ab, который можно подымать и опускать помощію рычага (непоказаннаго на фигурѣ); MN изображаетъ поверхность воды, въ которую опущена трубка h, закрываемая клапаномъ m. Отъ дна, или бока цилиндра идетъ еще другая трубка O, оканчивающаяся резервуаромъ p и закрываемая клапаномъ n. При поднятіи поршня, воздухъ въ цилиндрѣ AA дѣлается рѣже; внѣшній воздухъ, обладая большею упругостью, войдетъ, чрезъ трубку g, въ резервуаръ p, закроетъ клапанъ n, и придавитъ его къ отверстію трубки O; другой же клапанъ m откроется, вода изъ водоема MN войдетъ въ цилиндръ и займетъ пространство Q подъ поршнемъ.

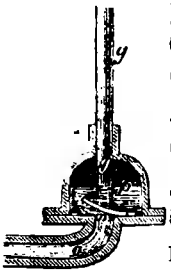


Фиг. 227.

Когда поршень станетъ опускаться, то клапанъ m закроется, а вода по

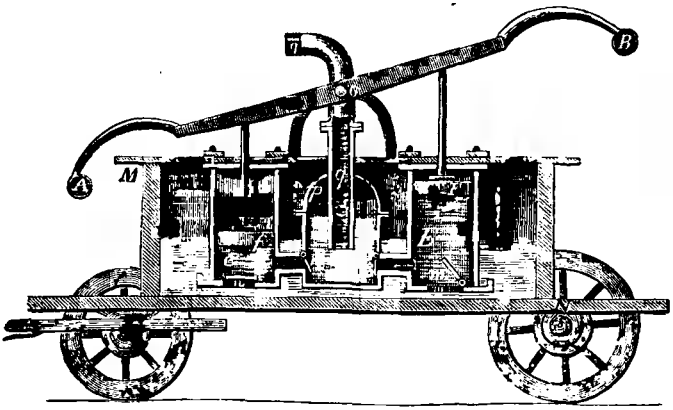
течетъ по трубкѣ O и, открывъ клапанъ n, подымется въ резервуаръ p, откуда, по трубкѣ g, пойдетъ въ мѣсто своего назначенія.

Если выпускать воду прямо изъ трубки g и сильно давить на поршень, то она будетъ выходить въ видѣ фонтана; этимъ пользуются при устройствѣ пожарныхъ трубъ. Но въ такомъ видѣ приборъ не годится, потому что водяная струя существуетъ только въ то время, когда поршень опускается. Для полученія равномѣрной струи, въ закрытый резервуаръ p (фиг. 229) вдѣлываютъ трубку g, доходящую почти до дна. При такомъ измѣненіи прибора, только часть прибывшей воды въ резервуаръ входитъ въ трубку g другая употребляется на сжатіе воздуха въ резервуарѣ; когда же, при поднятіи поршня, притока воды нѣтъ, то воздухъ расширяется и выгоняетъ лишнюю воду въ трубку g, и струя воды становится непрерывной.



Фиг. 229.

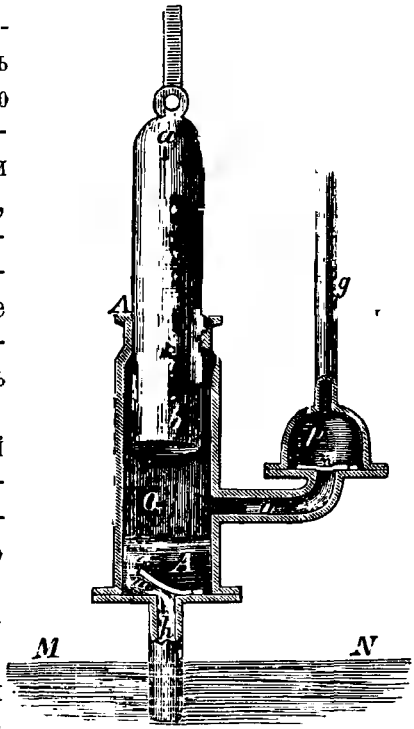
Пожарная труба. *Пожарная труба* есть соединеніе двухъ нагнетательныхъ водяныхъ насосовъ, на подобіе пневматической машины. Поршни f и F (фиг. 230) этихъ насосовъ приводятся въ движеніе рычагомъ перваго рода AB, такъ что когда одинъ f опускается,



Фиг. 230.

то другой F подымается; въ то же время клапаны m и r отпираются, а n и s запираются, и вода входитъ изъ ящика MN въ цилиндръ E. Когда поршень F будетъ опускаться, то втянутая имъ вода закроетъ клапанъ m и, приподнявъ клапанъ s, войдетъ въ сосудъ ps. Въ то же время другой поршень f подымается, клапанъ n отъ этого открывается, а клапанъ r закрывается, и вода течетъ въ цилиндръ e, откуда потомъ, при обратномъ движеніи поршня f, выталкивается въ сосудъ

ps. Изъ сосуда *ps* вода идетъ въ трубку *qq* и кожаный рукавъ, оканчивающійся мѣдной трубкой, помощію которой струѣ можно дать опредѣленное направленіе. Воздухъ въ сосудѣ *ps* надъ водою дѣлаетъ струю равномѣрною. Въ ящикъ *MN* необходимо приливать отъ времени до времени воды, но если отверстія, закрытыя клапанами *n* и *m*, сообщить, посредствомъ особыхъ каналовъ, съ водоемомъ, то въ этомъ не будетъ надобности, потому что тогда сами насосы станутъ втягивать въ себя воду.



Фиг. 228.

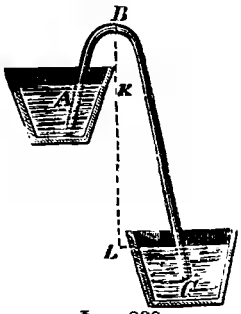
148. Гидравлическій прессъ. На законѣ гидростатическаго давленія и дѣйствія нагнетательнаго водяного насоса основано устройство *гидравлическаго пресса*, который служитъ для преодолѣванія весьма большихъ сопротивленій. Вообразимъ два сообщающіеся сосуда *b* и *a* (фиг. 231), одинъ широкій, а другой узкій. Пусть въ нихъ налита вода, на поверхности которой лежатъ два невѣсомые поршня съ гирями *P* и *Q*. Такъ какъ давленіе жидкости пропорціонально поверхности поршня [95], то для равновѣсія необходимо, чтобы *P* во столько разъ было менѣе *Q*, во сколько площадь поршня *a* менѣе площади *b*. Слѣдовательно, когда на поверхность воды въ узкомъ сосудѣ произведено давленіе, то въ широкомъ сосудѣ поршень испытываетъ давленіе большее—въ отношеніи поперечныхъ разрѣзовъ поршней.

Фиг. 231.

Гидравлическій прессъ также состоитъ изъ двухъ сосудовъ *a* и *b* (фиг. 232), сообщающихся трубкой *dtt*. Узкій сосудъ *a* содержитъ сплошной поршень *A*, приводимый въ движеніе рычагомъ *Cg*, и соединенъ, помощію трубки *r*, съ резервуаромъ воды *M*. Каналы *r* и *dtt* закрываются клапанами *i* и *d*. Такимъ образомъ, сосудъ *a* съ его

частями представляетъ нагнетательный водяной насосъ. При колебаніи рычага Cg, вода подымается изъ сосуда M въ насосъ a, изъ котораго потомъ перегоняется въ сосудъ b; здѣсь она выталкиваетъ поршень B и придавливаетъ доскою n, предметъ T, съ огромною силою къ неподвижной преградѣ e. Если отношеніе между поперечными разрѣзами поршней A и B равно 60, а отношеніе плечей рычага есть 10, то давленіе на тѣло T будетъ въ 600 разъ болѣе давленія на точку g.

149. Сифонъ. *Сифонъ* есть трубка ABC (фиг. 233), изогнутая въ два неравныя колѣна AB и BC, посредствомъ которой можно переливать жидкости изъ одного сосуда A въ другой C, не сдвигая ихъ съ мѣста. Пусть весь сифонъ и оба сосуда наполнены одною и тою же жидкостью. Жидкость въ сосудахъ A и C испытываетъ атмосферное давленіе и передаетъ его во внутренность трубки ABC. На встрѣчу этому давленію, дѣйствуетъ справа вѣсъ столба BL жидкости, котораго высота равна возвышенію верхней точки сифона надъ уровнемъ жидкости въ сосудѣ C, а слѣва—вѣсъ столба BK. Такъ какъ вѣсъ перваго болѣе вѣса второго, то атмосферное давленіе слѣва будетъ менѣе уменьшено, нежели справа; поэтому, жидкость на вершинѣ B сифона будетъ испытывать съ правой стороны меньшее давленіе, нежели съ лѣвой, и, слѣдовательно, жидкость, содержащаяся въ трубкѣ ABC, не можетъ остаться въ равновѣсіи и будетъ переливаться изъ сосуда A въ C.



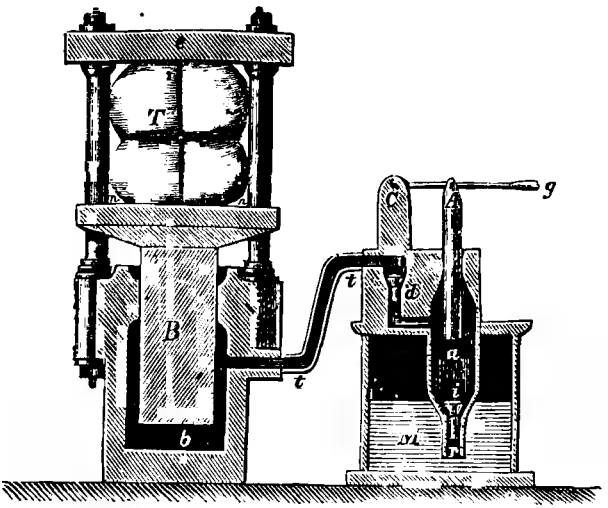
Фиг. 233.

Изъ предыдущаго выходитъ, что сифонъ можетъ дѣйствовать только подъ условіемъ, чтобы уровни жидкостей въ обоихъ сосудахъ не лежали на одной горизонтальной плоскости, и чтобы разстояніе B, вершины сифона, отъ ближайшаго уровня A не превышало извѣстный предѣлъ, который при нормальномъ давленіи атмосферы равенъ 34 футамъ для воды и 30 дюйм.—для ртути.

Чтобы удобно было наполнить сифонъ жидкостью, къ нему придѣлываютъ трубку CO (фиг. 234). Конецъ A погружаютъ въ жидкость, другой C закрываютъ пальцемъ и чрезъ трубку CO втягиваютъ ртомъ воздухъ; тогда внутри сифона упругость газа уменьшится, и атмосферное давленіе вгонитъ туда изъ сосуда A жидкость. Расширеніе g въ трубкѣ CO сдѣлано за тѣмъ, чтобы жидкость, при втягиваніи воздуха, не попала въ ротъ.

150. Ливеръ. Чтобы достать жидкости изъ сосуда съ узкимъ отверстіемъ, и который почему либо неудобно сдвинуть съ мѣста, употребляютъ *ливеръ* (фиг. 235). Онъ состоитъ изъ полаго тѣла M, къ которому

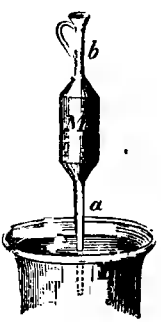
придѣлываютъ двѣ трубки: одну длинную *a*, другую короткую *b* съ расширеніемъ наверху; первую погружаютъ въ жидкость, а вторую прикладываютъ ко рту и втягиваютъ въ себя воздухъ. Когда значительная часть полости *M* наполнится жидкостью, то, закрывъ отверстіе *b* пальцемъ, ливеръ подымаютъ изъ жидкости; если теперь опустить трубку *a* въ другой сосудъ и отнять палецъ отъ отверстія, то жидкость изъ *M* выльется.



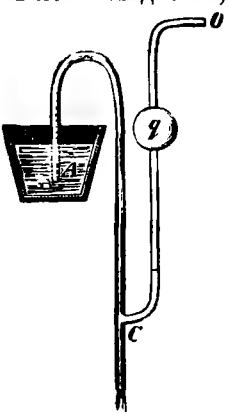
Фиг. 232.

Иногда бываетъ нужно достать весьма малое количество жидкости; для этой цѣли служитъ *пипетка*. Она состоитъ изъ воронки *M* (фиг. 236), оканчивающейся весьма тонкой трубкой *a* и плотно закрытой эластической перепонкой *n*. Если вдавить пальцемъ перепонку, то часть воздуха изъ внутренности прибора вытѣснится. Затѣмъ, конецъ трубки *a* погружаютъ въ жидкость. Если тогда принять палецъ, то перепонка приметъ прежній видъ, воздухъ въ воронкѣ *M* разрѣдится, а жидкость войдетъ въ трубку. Потомъ, пипетку подымаютъ. Чтобы извлечь нѣсколько жидкости изъ трубки, стоитъ только слегка надавить на перепонку *n*.

Фиг. 236.



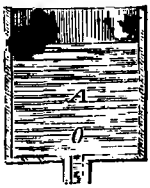
Фиг. 235.



Фиг. 234.

151. Равномѣрное истеченіе жидкостей. Если въ сосудъ *A* (фиг. 237), въ днѣ котораго сдѣлано отверстіе *O*, налить жидкости, то нижнія части ея, вслѣдствіе собственнаго вѣса и отъ давленія

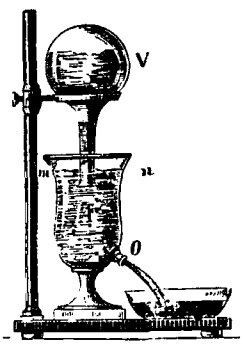
верхнихъ частицъ, выгоняются чрезъ *O* наружу; скорость истеченія ихъ тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе высота жидкости въ сосудѣ. Слѣдовательно, помѣрѣ пониженія уровня, скорость струи должна уменьшаться. Существуютъ приборы, которые заставляютъ жидкость вытекать равномѣрно.



Фиг. 237.

Если бутылку, наполненную водою, опрокинемъ горломъ внизъ, то, вслѣдствіе давленія атмосферы снизу, жидкость не должна бы выливаться. Но, по причинѣ неустойчивости равновѣсія, воздухъ, какъ легчайшая жидкость, подымается въ видѣ пузырьковъ ко дну и своею упругостью выгоняетъ оттуда воду, до тѣхъ поръ, пока его упругость, сложенная съ давленіемъ воды, не будетъ равна давленію атмосферы. Въ это время вытеканіе прекращается, но снова входитъ пузырекъ воздуха, и оно возобновляется. Въ этомъ случаѣ получается, какъ видимъ, струя прерывистая, количества же вытекающей жидкости въ равные промежутки времени приблизительно равны.

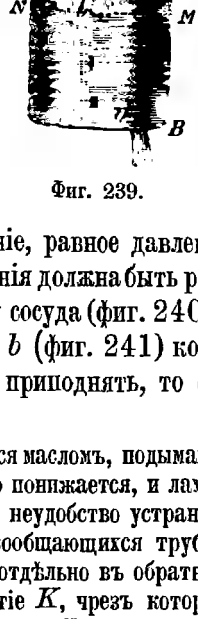
Болѣе равномѣрную струю можно получить, если въ сосудъ *A* (фиг. 238) съ водою опрокинемъ колбу *V*, наполненную тою же жидкостью. По причинѣ давленія атмосферы на поверхность *mn*, вода изъ сосуда *V* не выльется, потому что вершина этого сосуда отстоитъ отъ *mn* менѣе 34 футовъ. Положимъ, что чрезъ небольшое отверстіе *O* жидкость изъ сосуда *A* вытекаетъ; какъ скоро поверхность *mn* станетъ ниже отверстія колбы *V*, то воздухъ войдетъ пузырьками въ колбу и своею упругостью будетъ вытѣснять оттуда воду, пока уровень *mn* не закроетъ отверстія колбы. Въ это время давленіе наружнаго воздуха на поверхность *mn* равно давленію воды въ колбѣ, сложенному съ упругостью газа въ томъ же сосудѣ. По мѣрѣ вытеканія жидкости изъ сосуда *A*, уровень ея понижается, и когда отверстіе колбы откроется, воздухъ снова подымется въ *V* и вытѣснитъ нѣкоторое количество воды. Такимъ образомъ, жидкость въ сосудѣ *A* будетъ стоять приблизительно на одномъ уровнѣ, и потому скорость ея вытеканія чрезъ отверстіе *O* будетъ почти постоянна.



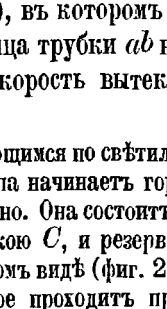
Фиг. 238.

Струю, почти совершенно равномѣрную, можно получить помощію сосуда Маріотта (фиг. 239). Этотъ приборъ состоитъ изъ склянки *AB*, внизу съ отверстіемъ *O*; черезъ пробку, плотно закупоривающую горло, пропущена стеклянная трубка *ab*. Въ сосудъ *AB* наливаютъ воды. По

мѣрѣ вытеканія жидкости чрезъ отверстіе O, уровень mn понижается; воздухъ въ пространствѣ vv надъ жидкостью въ склянкѣ увеличивается въ объемѣ, а его упругость уменьшается, наружный воздухъ беретъ перевѣсъ, входитъ чрезъ трубку ab въ сосудъ и подымается чрезъ воду въ видѣ пузырьковъ. Во все время вытеканія, давленіе атмосферы чрезъ трубку ab на горизонтальную плоскость MN, проведенную чрезъ нижній конецъ той же трубки, уравновѣшивается съ упругостью воздуха vv, сложенною съ давленіемъ столба жидкости $mnMN$. Поэтому, плоскость MN постоянно



Фиг. 239.



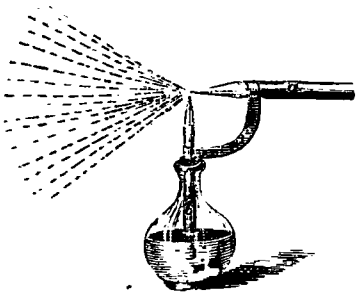
Фиг. 240.

испытываетъ одно и то же давленіе, равное давленію атмосферы. Отсюда понятно, что скорость вытеканія должна быть равна скорости струи, вытекающей изъ открытаго сверху сосуда (фиг. 240), въ которомъ высота жидкости равна возвышенію b (фиг. 241) конца трубки ab надъ отверстіемъ O. Если трубку ab приподнять, то скорость вытеканія сдѣлается болѣе.

Горѣніе въ лампахъ поддерживается масломъ, подымающимся по свѣтильнѣ; по мѣрѣ выгоранія масла, уровень его понижается, и лампа начинаетъ горѣть тускло. Въ *аргантовой лампѣ* это неудобство устранено. Она состоитъ изъ двухъ сосудовъ (фиг. 241) A и B, сообщающихся трубкою C, и резервуара D для масла, который представленъ отдѣльно въ обратномъ видѣ (фиг. 242). Послѣдній имѣетъ только одно отверстіе K, чрезъ которое проходитъ прутъ съ прикрѣпленною къ нему пластинкою m. Наполнивъ резервуаръ D масломъ, подымаютъ прутъ, и пластинка закроетъ отверстіе; поэтому, масло не выльется, если, перевернувъ сосудъ D, станемъ опускать его въ сосудъ A (фиг. 241). Но какъ скоро прутъ ударится о дно сосуда A, пластинка m подымется, воздухъ чрезъ отверстія O и K пройдетъ въ верхнюю часть резервуара и своею упругостью станетъ вытѣснять масло въ сосудъ B. Когда масло въ сосудѣ BB подымется до уровня GH, такъ что отверстіе K масломъ закроется, то пузырьки воздуха не будутъ болѣе проникать въ сосудъ DD. Послѣ того, уровень GH еще немного повысится, и воздухъ надъ уровнемъ N на столько разрѣдится, что его упругость, вмѣстѣ съ давленіемъ столба NK масла, сдѣлается равною давленію атмосферы. Когда часть масла сгоритъ, то отверстіе K откроется, въ резервуаръ D опять войдетъ воздухъ, и масло выльется, въ такомъ приблизительно количествѣ, сколько потратилось его на горѣніе. Такимъ образомъ, во время горѣнія, уровень масла въ горѣлкѣ B останется почти на одной и той же высотѣ.

152. Пульверизаторъ. Когда газъ находится въ движеніи, то давленіе, имъ производимое по направленію, перпендикулярному къ движенію, умень-

шается. На этомъ началѣ основано устройство *пульверизатора*, состоящаго изъ двухъ трубокъ a и b (фиг. 243), наклоненныхъ одна къ другой подъ прямымъ угломъ и скрѣпленныхъ въ c. Трубка b погружается въ сосудъ съ жидкостью. Если дуть въ трубку a, то струя воздуха, проходя вблизи отверстія трубки b, уменьшаетъ въ ней атмосферное давленіе; жидкость подымается по трубкѣ b и раздробляется струею воздуха, выходящей изъ трубки a, въ мельчайше шарики.



Фиг. 243.

О плотности газовъ.

153. Плотность газовъ весьма мала, а потому обыкновенно сравнивается съ плотностью не воды, но воздуха. Тогда уже легко получить удѣльный вѣсъ газа, если извѣстенъ удѣльный вѣсъ воздуха.

Чтобы измѣрить удѣльный вѣсъ воздуха, взвѣшиваютъ стеклянный шаръ A, наполненный воздухомъ (фиг. 178); пусть найденный вѣсъ есть p. Потомъ, разрѣдивъ въ оболочкѣ A воздухъ помощію пневматической машины, находятъ вѣсъ q. Затѣмъ, тотъ же шаръ наполняютъ водою и получаютъ вѣсъ r. Тогда $p-q$ выразитъ вѣсъ вытянутаго воздуха; сюда нужно прибавить вѣсъ оставшагося воздуха, что опредѣляется помощію барометра и манометра. Если напр. первый показывалъ 29 дюймовъ, а второй—5 линій, то въ оболочкѣ A оставалось только $^1/_{58}$ всего количества воздуха, а вытянуто, слѣдовательно, $^{57}/_{58}$; поэтому, вѣсъ всего воздуха, который заключался прежде въ шарѣ, равенъ

$$\frac{58}{57}(p-q).$$

Если это количество вычесть изъ p, то получимъ $p-\frac{58}{57}(p-q)$ вѣсъ пустой оболочки. Чтобы найти вѣсъ воды, которую можетъ вмѣстить оболочка, надо вѣсъ оболочки вычесть изъ количества r. Слѣдовательно, вѣсъ воды въ объемѣ оболочки равенъ $r-p+\frac{58}{57}(p-q)$. Отсюда удѣльный вѣсъ воздуха будетъ

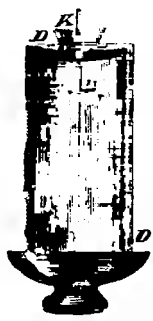
$$\frac{\frac{58}{57}(p-q)}{r-p+\frac{58}{57}(p-q)}$$

При наблюденіяхъ этого рода необходимо обращать вниманіе на многія обстоятельства.

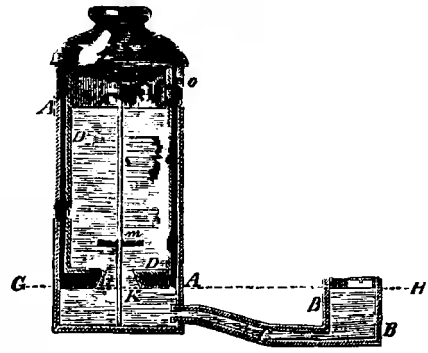
Воздухъ долженъ быть вполнѣ сухъ,—иначе мы опредѣлили бы удѣльный вѣсъ не воздуха, а смѣси изъ воздуха и водяныхъ паровъ; кромѣ того, стѣнки стекляннаго шара болѣе или менѣе влажны. Для избѣжанія проистекающихъ отсюда ошибокъ, изъ оболочки вытягиваютъ воздухъ, и затѣмъ впускаютъ осушенный воздухъ, заставивъ его предварительно пройти чрезъ трубку, наполненную кусками хлористаго кальція или фосфорнымъ ангидридомъ, имѣющими способность поглощать пары воды [195]. Такой пріемъ повторяютъ нѣсколько разъ. Сухой воздухъ, войдя въ оболочку, отнимаетъ отъ стѣнокъ влагу и, напитанный водяными парами, вытягивается пневматической машиной; на мѣсто его, опять впускаютъ сухой воздухъ. Для ускоренія и дѣйствительности

осушенія, полезно погрузить оболочку, во время операціи, въ кипящую воду. Когда, наконецъ, шаръ внутри будетъ сухъ и наполненъ сухимъ воздухомъ, можно приступить къ взвѣшиванію. При этомъ, конечно, необходимо принимать во вниманіе температуру и давленіе атмосферы.

При опредѣленіи плотности газовъ поступаютъ подобнымъ образомъ. Точно такъ же сначала изъ шара вытягиваютъ воздухъ; потомъ, впускаютъ туда испытуемый газъ. Тогда въ шарѣ будетъ смѣсь газа съ небольшимъ количествомъ оставшагося воздуха. Эту смѣсь вытягиваютъ воздушнымъ насосомъ и впускаютъ снова газъ. Повторивъ это нѣсколько разъ, можно допустить, что оболочка наполнена однимъ испытуемымъ газомъ. Назовемъ чрезъ s вѣсъ шара съ газомъ, чрезъ p—вѣсъ того же шара съ атмосфернымъ воздухомъ и чрезъ q—вѣсъ шара съ разрѣженнымъ воздухомъ; пусть притомъ давленіе атмосферы



Фиг. 242.



Фиг. 241.

было 29 дюймовъ, а упругость разрѣженнаго воздуха, измѣряемая манометромъ, равнялась 5 линіямъ. Вѣсъ атмосфернаго воздуха, взятаго въ объемѣ шара, будетъ $\frac{58}{57}(p-q)$; вѣсъ пустого шара $p-\frac{58}{57}(p-q)$ или $\frac{58q}{57}-\frac{p}{57}$, а вѣсъ газа $s-\left(\frac{58q}{57}-\frac{p}{57}\right)$. Отсюда плотность газа въ отношеніи плотности воздуха выразится чрезъ

$$\frac{s-\left(\frac{58q}{57}-\frac{p}{57}\right)}{\frac{58}{57}(p-q)}.$$

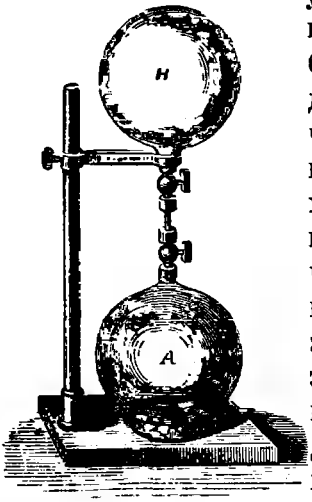
Изъ такихъ изысканій оказалось, что удѣльный вѣсъ воздуха, при 0° и давленіи въ 760^{mm}, есть 0,001293187. Плотность газовъ, при тѣхъ же условіяхъ, въ отношеніи плотности воздуха, показана въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Водородъ	0,0693	Кислородъ	1,1056
Этиленъ	0,5590	Углекислый газъ	1,5290
Амміакъ	0,5967	Хлоръ	3,4400
Азотъ	0,9714	Іодистый водородъ	4,4430
Воздухъ	1,0000		

Диффузія газовъ.

154. Всякіе два разнородные газа, находясь въ соприкосновеніи, смѣшиваются, распредѣляясь равномѣрно по всей массѣ. Бертолле доказалъ это слѣдующимъ опытомъ. Онъ взялъ два шара A и H

(фиг. 244), наполнилъ одинъ *H* водородомъ, другой *A* углекислымъ газомъ, соединилъ ихъ узкой трубкой и расположилъ первый надъ вторымъ. Не смотря на то, что газы имѣли одинаковыя упругости и температуры, и что углекислый газъ въ 22 раза плотнѣе водорода, оказалось, что, по прошествіи нѣкотораго времени, оба шара содержали совершенно одинъ и тотъ же газъ, состоящій изъ смѣси водорода и углекислаго газа. Движеніе газовъ одного въ другой получило названіе *диффузіи*. Этимъ явленіемъ между прочимъ объясняется, почему пропорція азота и кислорода въ воздухѣ повсюду одинакова.—Газы могутъ смѣшиваться также чрезъ твердыя тѣла. Для доказательства, заключаютъ углекислый газъ въ перепончатый пузырь, который помѣщаютъ въ стеклянный сосудъ большей величины и наполненный кислородомъ. Спустя нѣсколько времени, находятъ, что газы смѣшались. Если при этомъ перепонка была влажна, то углекислаго газа выходитъ въ наружный сосудъ меньше, нежели кислорода входитъ во внутренній перепончатый пузырь. Извѣстно, что аэростаты, наполненные водородомъ, или свѣтильнымъ газомъ, постепенно теряютъ эти газы, которые замѣняются чрезъ оболочку атмосфернымъ воздухомъ. Французскій химикъ Сен-Клеръ-Девиль доказалъ, что даже платина, самое плотное тѣло, способна, при весьма высокихъ температурахъ, пропускать чрезъ себя газы.



Фиг. 244.

О раствореніи газовъ въ жидкостяхъ.

155. Всѣ газы въ большемъ или меньшемъ количествѣ растворяются въ жидкостяхъ. Лучше всего изслѣдовано раствореніе газовъ въ водѣ, и притомъ въ случаѣ насыщенія, т. е. когда вода поглотила все количество газа, какое можетъ въ ней содержаться. Объемъ газа, растворимаго въ единицѣ объема жидкости, называется *коэффиціентомъ растворимости* или, проще, *растворимостью газа* въ этой жидкости. Для кислорода напр., коэффиціентъ растворимости, въ отношеніи воды, при 0° и давленіи 760^{mm} равенъ 0,04, т. е. одинъ кубическ. сантим. воды, при этихъ условіяхъ, можетъ поглотить 0,04 кубич. сантим. кислорода. Растворимость водорода, при тѣхъ же условіяхъ 0,02, азота 0,02, углекислаго газа 1,8, хлористаго водорода 504,8, амміака 1180,4.

Раствореніе газовъ въ водѣ слѣдуетъ тремъ законамъ:

1) *Растворимость газа уменьшается съ возвышеніемъ температуры.* Такъ, при возвышеніи температуры отъ 0° до 20°, коэффиціентъ растворимости кислорода уменьшается отъ 0,04 до 0,03. Отсюда объясняется,

почему стѣнки сосуда съ холодной водой, внесеннаго въ теплую комнату, спустя нѣсколько времени, покрываются внутри пузырьками газовъ, которые выдѣлились изъ жидкости, вслѣдствіе возвышенія температуры.

2) *Коэффиціентъ растворимости газа, при одной и той же температурѣ съ увеличеніемъ давленія не измѣняется.* Кислородъ напр. при температурѣ 0° имѣетъ одну и ту же растворимость 0,04, каково бы давленіе ни было. Такъ какъ, по закону Маріотта, плотность газа, и, слѣдовательно, вѣсъ единицы объема, пропорціональны давленію, то вѣсъ газа, поглощаемаго жидкостью, также пропорціоналенъ давленію, то есть, съ увеличеніемъ давленія, вѣсъ растворенного газа увеличивается въ столько же разъ. Поэтому, жидкость, насыщенная газомъ, пѣнится при уменьшеніи давленія, освобождая изъ себя этотъ газъ; такое явленіе видимъ въ нѣкоторыхъ искусственныхъ минеральныхъ водахъ и шипучихъ винахъ. Первыя насыщаются углекислымъ газомъ подъ сильнымъ давленіемъ и сохраняются въ закупоренныхъ бутылкахъ; углекислый газъ, содержащійся въ шипучихъ винахъ, образуется при броженіи винограднаго сока. Когда пробку вынимаютъ, то часть газа, бывшая надъ жидкостью, выходитъ, и давленіе уменьшается.

Разсматриваемый нами законъ довольно точенъ въ отношеніи газовъ, мало растворяющихся, и совершенно неприложимъ къ газамъ, растворимымъ въ большомъ количествѣ. напр. амміаку: при увеличиваніи давленія, амміакъ, растворяется въ бо́льшемъ количествѣ, чѣмъ слѣдуетъ по приведенному закону. Тѣ же газы не повинуются и слѣдующему третьему закону.

3) *Если смѣсь разныхъ газовъ находится въ прикосновеніи съ водою, то каждый газъ поглощается, пропорціонально своему парціальному давленію* [122], *т. е. въ такомъ количествѣ по вѣсу, какъ будто бы, вмѣсто газовой смѣси, былъ только одинъ этотъ газъ, съ упругостью, которую онъ получилъ бы, занявъ весь объемъ смѣси.* Пусть напр. смѣсь состоитъ изъ 4 частей по объему азота и одного кислорода, подъ обыкновеннымъ давленіемъ въ 760^{mm}. Если бы то же самое количество азота распространилось по объему, занятому всею смѣсью, то упругость его равнялась бы $^4/_5$ атмосферы, а упругость кислорода, при тѣхъ же условіяхъ, была бы только $^1/_5$; коэффиціенты растворимости этихъ газовъ при 0° соотвѣтственно 0,02 и 0,04. Слѣдовательно, 1 кубич. сантим. воды поглотитъ 0,02 кубич. сантим. азота, при упругости $^4/_5$ атмосферы, и 0,04 куб. сантим. кислорода подъ давленіемъ $^1/_5$ атмосферы, или, относя къ давленію въ одну атмосферу, найдемъ для азота 0,016 к. с. и для кислорода 0,008 к. с.

Изъ этого закона вытекаютъ многія интересныя слѣдствія.

Относительныя количества газовъ, поглощаемыхъ водою изъ газообразной смѣси, бываютъ иныя, чѣмъ въ этой смѣси. Атмосфера напр. состоитъ изъ 4 частей азота и 1 кислорода, а въ водѣ, соприкасающейся съ атмосферой, азота вдвое болѣе, чѣмъ кислорода.

Если вода, насыщенная какимъ либо газомъ, наприм. азотомъ обыкновенной упругости, будетъ приведена въ прикосновеніе съ кислородомъ той же упругости, заключеннымъ въ ограниченное пространство, то азотъ будетъ освобождаться, а кислородъ поглощаться—до тѣхъ поръ, пока количества растворенныхъ газовъ не достигнутъ нѣкотораго отношенія къ количествамъ тѣхъ же газовъ въ смѣси ихъ надъ водою.—Если вода, напитанная какимъ-либо газомъ, помѣщена въ неограниченной атмосферѣ другого газа, то первый, спустя нѣсколько времени, весь выдѣлится изъ жидкости.

Какой высоты долженъ быть столбъ изъ нефти, чтобы уравновѣсить давленіе атмосферы?—Выразить въ килограммахъ давленіе атмосферы на одинъ квадратный метръ и давленіе въ граммахъ на одинъ квадр. сантиметръ, при высотѣ ртути въ барометрѣ 760^{mm}.—Какую силу надо употребить, чтобы разнять магдебургскія полушарія, при внутреннемъ діаметрѣ ихъ въ одинъ футъ, и если барометръ показываетъ 29,2 дюйма, а манометръ — 2 линіи?—Въ закрытой съ одного конца цилиндрической трубкѣ, опущенной въ ртуть (фиг. 189), воздухъ занимаетъ пространство въ 4 дюйма; давленіе атмосферы измѣряется столбомъ ртути въ 29,4 дюйма; въ трубкѣ и сосудѣ ртуть стоитъ на одной высотѣ; на какую высоту поднимется ртуть въ трубкѣ надъ жидкостью въ сосудѣ, если трубка будетъ выдвинута изъ жидкости на 11 дюйм.?—Ртуть въ цилиндрической трубкѣ (фиг. 189) возвышается надъ уровнемъ той же жидкости въ сосудѣ на 7 дюйм.; воздухъ въ трубкѣ занимаетъ пространство 5,5 дюйм.; наружное давленіе 28,6 дюйм.; на сколько еще подымется ртуть въ трубкѣ, если выдвигать послѣднюю до тѣхъ поръ, пока воздухъ не займетъ вдвое большее пространство?—Сколько можетъ поднять аэростатъ 45-ти футовъ въ діаметрѣ, наполненный чистымъ водородомъ, если одинъ квадратный футъ матеріи, изъ которой сдѣлана оболочка, вѣситъ одинъ золотникъ?—Отчего аэростатъ при поднятіи увеличивается въ объемѣ?—Что измѣряетъ давленіе атмосферы: высота, или длина ртутнаго столба въ барометрѣ?—Производитъ ли расширеніе барометрической трубки, при возвышеніи температуры, какое нибудь вліяніе на высоту ртути?—Разсмотрѣть, какое вліяніе оказываетъ на барометрическую высоту расширеніе шкалы при нагрѣваніи.—Барометрическая трубка *K* со ртутью (фиг. 182) прикрѣплена за вершину свою къ чашкѣ вѣсовъ; какой грузъ надо положить на другую чашку, чтобы произошло равновѣсіе?—Почему во всасывающемъ водяномъ насосѣ употребляется рычагъ перваго рода, а въ насосѣ толкающемъ—рычагъ второго рода?—Можно ли сифономъ переливать жидкость въ пустомъ пространствѣ? — Можно ли всасывающимъ насосомъ поднять воду на всякую высоту, или же только до нѣкотораго предѣла?—Опредѣлить усиліе, съ которымъ надо давить на поршень (фиг. 228), чтобы поднять воду на высоту 15 саженъ.—Давленіе атмосферы на жидкость въ сосудахъ *A* и *C* (фиг. 233), очевидно, не одинаково, потому что одинъ сосудъ ниже другого. Какое происходитъ отъ этого измѣненіе въ давленіи на вершинѣ *B* сифона?—Если водолазный колоколъ опущенъ въ воду, на глубину одной версты, то какъ велика въ немъ будетъ упругость сжатаго воздуха?—Отъ какихъ обстоятельствъ зависитъ высота водяной струи въ фонтанѣ Героиа?—Какіе изъ приборовъ, описанные въ предыдущей статьѣ, основаны на упругости воздуха, какіе на давленіи и какіе на томъ и другомъ свойствахъ?—Греческій философъ Аристотель, желая узнать, имѣетъ ли воздухъ вѣсъ, взвѣшивалъ кожаный мѣшокъ, наполненный этимъ газомъ, и потомъ тотъ же мѣшокъ смятый, безъ воздуха; можно ли такимъ опытомъ убѣдиться, что воздухъ имѣетъ вѣсъ?—Какое произойдетъ явленіе, если въ склянкѣ *AB* (фиг. 239), между точками *n* и *M*, сдѣлать отверстіе?—Въ цилиндрѣ *AB* (фиг. 185), подъ поршнемъ *M* находится обыкновенный воздухъ, такъ что поршень, не принимая во вниманіе его вѣса и тренія, остается въ равновѣсіи; если величина поршня равна 96 квадратнымъ дюйм., то на сколько поршень вдвинется, если на него положить гирю въ 36 пудовъ?—При одной атмосферѣ ртуть въ чашкѣ *C* и трубкѣ *h* (фиг. 216) стояла на одной высотѣ; обозначить на трубкѣ *h* дѣленія, соотвѣтствующія 2, 3, 4.., 10 атмосферамъ, предполагая для простоты, что ртуть въ чашкѣ *C* остается на одной и той же высотѣ.—Фигура 245 изображаетъ сифонный барометръ съ двумя жидкостями: ртутью *abc* и нефтью *cde*; надъ уровнемъ ртути—торичеллієва пустота. Не трудно понять, что, при измѣненіи въ давленіи атмосферы, колебанія уровня *e* нефти должны быть больше, нежели колебанія ртути въ обыкновенномъ ртутномъ барометрѣ; чѣмъ шире камеры *a* и *c* и чѣмъ тонь-

Фиг. 245.

ше трубка *de*, тѣмъ снарядъ будетъ чувствительнѣе. Разыскать наибольшій предѣлъ чувствительности этого прибора, сравнительно съ сифоннымъ ртутнымъ барометромъ.—Представимъ себѣ сифонную трубку, которой оба колѣна вертикальны; нижній конецъ одного колѣна запаянъ, нижній конецъ другого сообщенъ съ ртутнымъ насосомъ—столь совершеннымъ, что онъ можетъ произвести абсолютную пустоту; пусть сифонъ такъ высокъ, что основаніе его находится на поверхности земли, а вершина выходитъ за предѣлы атмосферы. Можно ли изъ запаяннаго колѣна такого сифона вытянуть воздухъ?—Пользуясь таблицей § 153, опредѣлить вѣсъ одного кубическаго сантиметра воздуха и другихъ газовъ въ граммахъ и вѣсъ кубич. метра тѣхъ же газовъ въ килограммахъ.

ТЕПЛОРОДЪ.

Общія понятія.

156. Теплородъ. Причина ощущеній тепла и холода называется *теплородомъ* или *тепломъ*, подобно тому, какъ причина химическихъ явленій—химическимъ сродствомъ, паденія тѣлъ—тяжестью и проч.

Теплородъ оказываетъ дѣйствіе не только на человѣка и вообще на всѣ органическія существа, но и на тѣла неорганическія, заставляя ихъ расширяться, накаливаться, переходить изъ твердаго состоянія въ жидкое, изъ жидкаго въ газообразное и проч.

157. Расширеніе тѣлъ отъ теплорода. Самое обыкновенное и чаще всего наблюдаемое дѣйствіе теплорода есть расширеніе тѣлъ при нагрѣваніи и уменьшеніе ихъ объема при охлажденіи [22]. Наименьшее расширеніе замѣчается въ тѣлахъ твердыхъ, нѣсколько большее—въ жидкихъ и самое большое—въ газообразныхъ. Замѣчательное исключеніе изъ этого закона представляетъ вода [86], которая при охлажденіи отъ 4° расширяется.

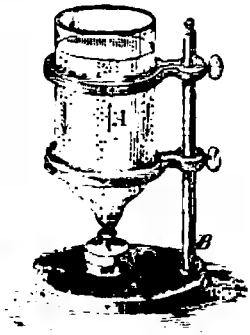
Каучуковый прутъ, растянутый раза въ три противъ своей длины, при нагрѣваніи сжимается, а, охлаждаясь, расширяется. Впрочемъ, на это не должно смотрѣть, какъ на исключеніе изъ общаго закона. Кажущееся отступленіе легко объясняется существованіемъ въ каучукѣ множества поръ, которыя образуютъ замкнутыя со всѣхъ сторонъ пространства, наполненныя воздухомъ. Когда каучуковый прутъ бываетъ растянутъ, то поры удлиняются по направленію длины прута; при нагрѣваніи, воздухъ, заключенный въ порахъ, расширяется и растягиваетъ поры по направленію перпендикулярному, отчего каучуковый прутъ укорачивается.

Нѣкоторыя вещества, какъ глина, дерево и проч., также при нагрѣваніи сжимаются. Это происходитъ отъ потери содержащейся въ нихъ воды, и въ самомъ дѣлѣ при охлажденіи они не возвращаются къ первоначальному объему.

158. Нагрѣваніе жидкостей и газовъ. Если нижніе слои жидкости теплѣе верхнихъ, то частицы ея не могутъ быть въ равновѣсіи; онѣ перемѣщаются до тѣхъ поръ, пока вся масса жидкости не приметъ одну и ту же температуру. Чтобы убѣдиться въ этомъ, наливаютъ воды

въ стеклянный сосудъ *A* (фиг. 246), поддерживаемый станкомъ *B*, и нагрѣваютъ спиртовою лампою *m*, поставленною подъ дно сосуда; тогда нижніе слои жидкости дѣлаются теплѣе, слѣдовательно, легче верхнихъ, и потому подымаются, а холодные опускаются, въ свою очередь нагрѣваются и опять всплываютъ на поверхность. Такимъ образомъ, при нагрѣваніи жидкости, являются восходящія и нисходящія теченія, которыя легко замѣтить, если въ водѣ плаваютъ соринки. Подобное движеніе замѣчается, если сосудъ подогрѣвается съ одного бока: у теплой стѣнки жидкость подымается, у холодной опускается.

Фиг. 247.



Фиг. 246.

Въ газахъ происходитъ то же явленіе. Если изъ теплой комнаты отворить дверь въ холодную (фиг. 247), то обнаруживаются два теченія: холодный воздухъ какъ плотнѣйшая жидкость, течетъ внизу въ теплую комнату, а теплый—вверху, въ обратную сторону. Если поставимъ свѣчу *a* на полъ, то пламя наклонится въ теплую комнату; когда же будемъ держать свѣчу *c* сверху, то пламя приметъ противное направленіе. На нѣкоторой высотѣ двери въ *b*, пламя не отклоняется ни въ ту, ни въ другую сторону. То же самое наблюдается въ комнатахъ зимою, когда воздухъ, охлажденный холодными стеклами рамъ, опускается на полъ и замѣщается новымъ, притекающемъ сверху и съ боковъ. Напротивъ, у печей воздухъ нагрѣвается и подымается, а на мѣсто его приходитъ холодный, и такимъ образомъ теплота разносится по всей комнатѣ.

159. Понятіе о лучистомъ теплородѣ. Теплородъ можетъ переходить изъ одного тѣла въ другое чрезъ всякое разстояніе, какъ бы оно ни было велико или мало, если только на пути нѣтъ веществъ, задерживающихъ теплородъ,—и при томъ съ чрезвычайно большою скоростью; въ этомъ состояніи теплородъ называется *лучистымъ*. Лучи теплорода распространяются прямолинейно.

Въ существованіи лучистаго теплорода убѣждаютъ насъ многія явленія. Если обратимъ руку къ нагрѣтому тѣлу, не касаясь его, то будемъ чувствовать теплоту; это происходитъ не отъ того, что нагрѣлся окружающій воздухъ, но вслѣдствіе лучеиспусканія, потому что мы чувствуемъ теплоту только на той сторонѣ руки, которая обращена къ источ-

нику тепла. Вмѣстѣ съ лучами свѣта, получаемыми землею отъ солнца, достигаетъ до насъ и лучистая теплота; она производитъ многія явленія, замѣчаемыя на земной поверхности: различія въ температурахъ днемъ и ночью и въ разныя времена года, а также раздѣленіе земли на поясы.

Лучистая теплота испускается не только свѣтящимися предметами, но и темными, такъ что всякое тѣло, какова бы ни была его температура, выбрасываетъ изъ себя теплородъ къ другимъ предметамъ и въ свою очередь принимаетъ отъ нихъ теплоту; чѣмъ выше температура тѣла, тѣмъ болѣе оно испускаетъ теплоты. Поэтому, если тѣло теплѣе другихъ, его окружающихъ, то болѣе теряетъ теплоты, нежели пріобрѣтаетъ, и температура его понижается; въ противномъ случаѣ, т. е. если оно холоднѣе тѣлъ, его окружающихъ, то будетъ постепенно нагрѣваться. Если, наконецъ, температура всѣхъ тѣлъ одинакова, то въ каждомъ тѣлѣ расходъ теплорода будетъ равенъ приходу, т. е. сколько тѣло теряетъ тепла, столько же и пріобрѣтаетъ отъ другихъ тѣлъ въ то же самое время, и температура тѣла будетъ постоянно одна и та же. Если мы обращаемъ руку къ очагу, то ощущаемъ теплоту, потому что рука испускаетъ менѣе теплорода, нежели пріобрѣтаетъ отъ очага. Напротивъ, держа руку вблизи льда, мы чувствуемъ холодъ, потому что рука болѣе испускаетъ тепла ко льду, чѣмъ ледъ къ рукѣ.

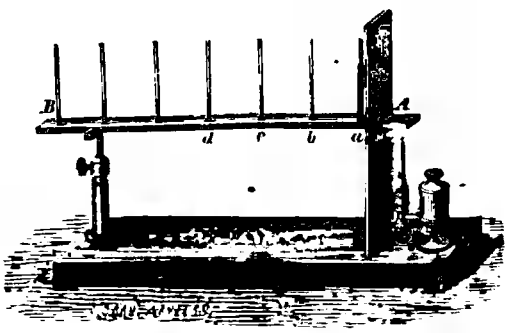
Количество испускаемыхъ лучей зависитъ не отъ одной температуры тѣла, но и отъ другихъ обстоятельствъ, наприм. состоянія его поверхности: тѣла полированныя испускаютъ меньше лучей, нежели шероховатыя.

Лучистымъ теплородомъ объясняется, почему, нагрѣвая тѣло помощію какого нибудь источника тепла, можно возвысить температуру этого тѣла не далѣе извѣстнаго предѣла, какъ бы долго ни производили нагрѣваніе. Пусть напр. металлическій шаръ держатъ надъ пламенемъ спиртовой лампы. Температура его начнетъ возвышаться; въ то же время будетъ увеличиваться расходъ теплоты чрезъ лучеиспусканіе, между тѣмъ какъ приходъ останется тотъ же самый. Слѣдовательно, будетъ время, когда расходъ сдѣлается равнымъ приходу. Въ это мгновеніе шаръ достигаетъ наибольшей температуры, которая уже не измѣняется, какъ бы долго онъ ни оставался надъ пламенемъ.

160. Теплопроводность тѣлъ; хорошіе и худые проводники. Если одинъ конецъ металлическаго прута погрузимъ въ пламя лампы, то вскорѣ будемъ ощущать теплоту по всему пруту, если только онъ не слишкомъ длиненъ. Отсюда видимъ, что теплородъ можетъ въ тѣлахъ распространяться; это свойство тѣлъ называется *теплопроводностью* и можетъ быть объяснено лучистымъ теплородомъ, ко-

торый испускаютъ матеріальныя частицы одного и того же тѣла другъ къ другу.—Разныя вещества неодинаково теплопроводны.

Когда требуется выразить числами относительную теплопроводность твердыхъ тѣлъ, можно воспользоваться приборомъ Депрé, состоящимъ изъ металлическаго стержня AB (фиг. 248), котораго одинъ конецъ A нагрѣвается помощію лампы; въ углубленія, сдѣланныя по длинѣ стержня и наполненныя ртутью, вставляютъ весьма чувствительные термометры: a, b, c, d... Экранъ M защищаетъ термометры отъ дѣйствія лучистой теплоты, испускаемой лампой. Теплородъ, распространяясь по тѣлу AB, въ то же время теряется въ видѣ лучей и отнимается смежными частицами воздуха. По этой причинѣ, не весь теплородъ, достигшій термометра a, сообщится термометру b; одна часть его выйдетъ наружу, другая задержится веществомъ стержня, наконецъ третья часть придетъ въ b. Только вторая часть, задержанная стержнемъ, возвышаетъ его температуру. Третья часть, т. е. передаваемая термометру b, зависитъ отъ теплопроводности: она тѣмъ менѣе, чѣмъ хуже теплопроводность стержня. На пути отъ термометра b къ слѣдующимъ c, d и т. д., теплота, подобно предыдущему, частію теряется наружу, частію задерживается тѣми точками стержня, чрезъ которыя проходитъ, частью передается далѣе. По мѣрѣ возрастанія температуры стержня, потеря теплорода увеличивается, и, наконецъ, будетъ мгновеніе, когда количество притекающаго тепла сдѣлается, въ каждой точкѣ стержня, равнымъ потерѣ; послѣ этого, температура перестанетъ измѣняться; такого состоянія достигнетъ сначала термометръ a, потомъ b и т. д. Чѣмъ дальше термометръ отъ источника тепла, тѣмъ менѣе получаетъ теплорода и тѣмъ меньшую показываетъ температуру; разность между температурами двухъ смежныхъ термометровъ тѣмъ менѣе, чѣмъ лучше теплопроводность стержня. Изъ этихъ разностей можно вычислить *коэффиціентъ проводимости* тѣлъ или относительное количество тепла, протекающаго въ единицу времени, чрезъ единицу площади поперечнаго разрѣза стержня. Здѣсь предлагается таблица теплопроводности нѣкоторыхъ металловъ, гдѣ коэффиціентъ теплопроводности серебра принятъ за 100.



Фиг. 248.

Названіе веществъ.	Теплопроводность.	Названіе веществъ.	Теплопроводность.
Серебро	100	Желѣзо	12
Мѣдь	74	Свинецъ	9
Золото	53	Платина	8
Латунь	24	Мельхіоръ	6
Олово	15	Висмутъ	2

Тѣла, быстро проводящія теплоту, называется *хорошими проводниками*, а медленно, или вовсе не проводящія тепла—*худыми про-*

водниками или *непроводниками*. Къ первымъ относятся металлы; ко вторымъ—камни, фарфоръ, стекло, дерево, смола, хлопчатая бумага, шерсть, шелкъ, гагачій пухъ и вообще органическія вещества.

Тѣла, которыхъ строеніе по разнымъ направленіямъ различно, имѣютъ разную теплопроводность; это замѣчается напр. въ деревѣ и кристаллахъ послѣднихъ четырехъ системъ. По направленію волоконъ дерева, теплота распространяется быстрѣе, нежели по направленію перпендикулярному. Для кристалловъ нельзя дать подобнаго постояннаго правила; такъ напримѣръ, исландскій шпатъ проводитъ теплоту лучше по направленію оптической оси кристалла, нежели по направленію перпендикулярному; турмалинъ представляетъ обратное явленіе. Сенармонъ покрывалъ тонкимъ слоемъ воска пластинку изъ испытуемаго вещества и пропускалъ перпендикулярно чрезъ середину ея серебряную проволоку, одинъ конецъ которой нагрѣвалъ на спиртовой лампѣ; еще лучше употребить проволоку платиновую и накаливать ее гальваническимъ токомъ. Тогда теплота переходитъ съ проволоки на пластинку и плавитъ воскъ; плавленіе распространяется быстрѣе по тѣмъ направленіямъ, гдѣ теплородъ проводится лучше. Когда воскъ перестанетъ таять, то нагрѣваніе прекращаютъ; воскъ застываетъ; образуется небольшое возвышеніе, обозначающее границу плавленія воска; при этомъ всегда получается или кругъ, или эллипсъ. Пластинка деревянная, которой грани перпендикулярны къ волокнамъ, или приготовленная изъ кристалла первой кристаллографической системы, отшлифованная по какому бы то ни было направленію, а также пластинка, которой грани перпендикулярны къ оптической оси кристалла второй или третьей системы—даютъ всегда кругъ. Во всѣхъ прочихъ случаяхъ дерево и кристаллы даютъ эллипсъ.

161. Жидкости (кромѣ ртути) и газы принадлежатъ къ худымъ проводникамъ. Для жидкостей это доказывается весьма просто. Въ стеклянный сосудъ D (фиг. 249) наливаютъ воды, или другой жидкости; на дно его помѣщаютъ дифференціальный термометръ [25], у котораго одинъ шарикъ A выше, чѣмъ другой B. На сосудъ D ставятъ другой, металлическій сосудъ M, поддерживаемый стержнями, такъ чтобы онъ частію погружался въ жидкость, и наполняютъ его масломъ при температурѣ 200°. Тогда верхніе слои воды, прикасающіеся къ дну сосуда M, нагрѣются, но внизъ не опустятся, а, значитъ, не произойдетъ восходящихъ и нисходящихъ теченій, какъ при нагрѣваніи жидкости снизу [158], потому что вверху будутъ теплѣйшія и легчайшія частицы, которымъ нѣтъ причины опуститься. Такимъ образомъ, нижніе слои жидкости могутъ нагрѣваться только чрезъ теплопроводность самой жидкости и лучеиспусканіе сосуда M; но термометръ показываетъ самое незначительное измѣненіе температуры; слѣдовательно, жидкости принадлежатъ къ худымъ проводникамъ тепла.

Фиг. 249.

Мы не имѣемъ прямого доказательства худой теплопроводности газовъ, однакоже только этимъ свойствомъ можно объяснить нѣкоторыя явленія. Такъ, всѣ вещества, состоящія изъ слоевъ, или тонкихъ нитей, худо проводятъ теплоту. Сюда относятся: шерсть, солома, вата, гагачій пухъ, мѣха. Воздухъ, наполняющій скважины такихъ тѣлъ, прилипая къ слоямъ и нитямъ и составляя съ ними, какъ-бы, одно цѣлое, остается неподвижнымъ при нагрѣваніи; отъ этого, теплородъ не переносится потоками воздуха, какъ въ комнатѣ, а можетъ переходить изъ одного слоя въ другой только посредствомъ теплопроводности воздуха и чрезъ лучеиспусканіе. Такимъ образомъ, худую теплопроводность веществъ, состоящихъ изъ слоевъ или нитей, можно объяснить нетеплопроводностью воздуха, и дѣйствительно, если, чрезъ сжатіе, привести слои и нити въ соприкосновеніе и вытѣснить изъ скважинъ воздухъ, то теплопроводность тѣла увеличится. Обратно, хорошіе проводники, какъ напр. металлы, худо пропускаютъ теплородъ, когда они раздроблены въ порошокъ.

Итакъ, газы и жидкости весьма худо проводятъ теплородъ; если они, въ соприкосновеніи съ нагрѣтымъ тѣломъ, и сами нагрѣваются одинаково по всей массѣ, то это должно приписать теченіямъ, образующимся при неравномѣрномъ распредѣленіи тепла.

162. Приложеніе худыхъ проводниковъ. Въ человѣческомъ тѣлѣ постоянно освобождается теплота, которая, придя на его поверхность, употребляется частію на нагрѣваніе прилегающаго слоя воздуха, частію на лучеиспусканіе. Если приходъ тепла болѣе расхода, то температура нашего тѣла увеличивается, и когда перейдетъ нѣкоторый предѣлъ, мы чувствуемъ жаръ; напротивъ, если расходъ превышаетъ приходъ, то мы, наконецъ, будемъ ощущать холодъ. Для предохраненія отъ холода, мы пользуемся одеждами изъ шерсти, хлопчатой бумаги, мѣховъ и проч., вообще изъ худыхъ проводниковъ, которые затрудняютъ передачу теплорода. Худыми проводниками защищаютъ отъ охлажденія и другія тѣла, если это оказываетъ на нихъ вредное вліяніе; таковы напр. музыкальные инструменты. Ледъ въ ледникахъ покрываютъ соломой, чтобы предохранить его отъ таянія во время лѣтнихъ жаровъ. Наши жилища строятся изъ худыхъ проводниковъ: дерева, кирпича и проч. Вообще же должно замѣтить, что непроводниками можно предохранить тѣло отъ холода или жара только на нѣкоторое время, потому что худые проводники, хотя и худо, но все-таки проводятъ теплоту, и тѣло, оставаясь долго въ какой нибудь средѣ, принимаетъ, наконецъ, ея температуру. По крайней мѣрѣ, такъ будетъ, если пред-

метъ не имѣетъ въ самомъ себѣ источника тепла, какъ животное тѣло, или отапливаемыя комнаты.

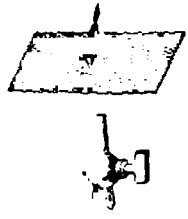
На теплопроводности тѣлъ основано объясненіе, почему въ холодѣ хорошіе проводники кажутся на ощупь холоднѣе худыхъ, хотя температура ихъ одна и та же. Проводники больше отнимаютъ отъ руки теплорода, нежели непроводники, потому что отнимаемая теплота тотчасъ же распространяется по всей массѣ проводника, между тѣмъ какъ у непроводника нагрѣвается только одна поверхность, соприкасающаяся съ рукою. Въ тѣлахъ нагрѣтыхъ наблюдается обратное явленіе: проводникъ кажется теплѣе непроводника. Проводникъ уступаетъ рукѣ больше тепла, чѣмъ непроводникъ, потому что теплота, отнятая съ поверхности хорошаго проводника, вознаграждается теплотою, притекающею изнутри его, между тѣмъ какъ въ непроводникѣ теплота отымается только отъ частицъ его поверхности.

Отсюда же объясняется, почему такъ вредны для озимей безснѣжныя зимы: снѣгъ, какъ худой проводникъ тепла, не дозволяетъ землѣ слишкомъ много охладиться.

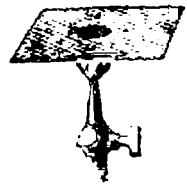
Въ жилыхъ покояхъ, на зиму вставляютъ двойныя и даже тройныя рамы; воздухъ, заключенный между ними, затрудняетъ переходъ тепла изъ комнаты на внѣшній воздухъ.

Ручки нѣкоторыхъ предметовъ (краны у самоваровъ, утюговъ), подвергаемыхъ сильному нагрѣванію, дѣлаются всегда изъ худыхъ проводниковъ: дерева, кости и проч.

Теплопроводностью также объясняется охлаждающее дѣйствіе металлическихъ сѣтокъ или тканей. Если покрыть пламя газа такой тканью (фиг. 250), то горѣніе за сѣтку не переходитъ; равнымъ образомъ, если незажженный газъ (фиг. 251) пропустить чрезъ сѣтку и потомъ зажечь, то пламя по другую ея сторону, внизъ не передается. Въ обоихъ случаяхъ металлъ ткани отнимаетъ отъ газа значительную часть тепла, которое распространяется по всей сѣткѣ и постепенно теряется въ воздухѣ; оставшаяся теплота въ газѣ не въ состояніи поддерживать горѣніе. Извѣстно, что въ каменноугольныхъ копяхъ скопляется много углеродистоводороднаго газа, который въ смѣшеніи съ воздухомъ даетъ, въ присутствіи пламени, взрывъ; отъ этого происходитъ множество несчастныхъ случаевъ Для предупрежденія ихъ, Деви изобрѣлъ лампу, въ которой пламя отдѣлено отъ окружающаго воздуха металлической сѣткой; если взрывъ и происходитъ, то только внутри лампы. потому что металлическая ткань не пропускаетъ пламени наружу.



Фиг. 250.



Фиг. 251.

О количествѣ теплорода и теплоемкости.

163. Количество теплорода. Если какое нибудь нагрѣтое тѣло, наприм. камень, опустить въ холодную воду, то камень охлаждается, уступая часть своего тепла жидкости, которой температура отъ этого возвышается; чѣмъ болѣе камень, и чѣмъ выше его температура, тѣмъ болѣе вода нагрѣвается. Опытъ также показываетъ, что, для нагрѣванія какого нибудь вещества, наприм. воды, до нѣкоторой температуры, потребно опредѣленное количество горючаго матеріала, и тѣмъ большее, чѣмъ больше вѣсъ воды. Такъ, для возвышенія температуры 10 фунт. воды на 100°, нужно въ пять разъ болѣе тепла, нежели для нагрѣванія 2 фунтовъ до той же температуры.

Эти явленія, извѣстныя каждому, и многія другія наводятъ на мысль, что теплородъ есть нѣчто вещественное, способное переходить изъ одного тѣла въ другое. Такимъ образомъ, съ давнихъ поръ составилась гипотеза, что теплородъ есть жидкость, которой частицы одарены взаимнымъ отталкиваніемъ и поэтому стремятся занять какъ можно большее пространство. Когда эта жидкость находится въ хорошемъ проводникѣ, то распространяется съ большею или меньшею скоростью; въ худомъ проводникѣ она можетъ двигаться только весьма медленно.

Если, взвѣсивъ какое либо тѣло, мы потомъ нагрѣемъ его до какой угодно температуры и снова взвѣсимъ, то окажется, что вѣсъ остался тотъ же самый,—конечно въ томъ только случаѣ, когда не произошло измѣненія въ составѣ тѣла, чрезъ выдѣленіе веществъ изъ его массы, или присоединеніе новыхъ отъ окружающей среды. Отсюда выходитъ, что, разсматривая теплородъ какъ вещество, мы должны необходимо допустить, что это вещество невѣсомо, или по крайней мѣрѣ вѣсъ его такъ малъ, что не можетъ быть обнаруженъ самыми чувствительными приборами.

Что теплородъ нельзя считать вѣсомымъ, выходитъ съ очевидностью изъ слѣдующаго опыта. Извѣстно, что, при смѣшеніи сѣрной кислоты съ водою, выдѣляется большое количество тепла, такъ что смѣсь сильно нагрѣвается. Взвѣсимъ отдѣльно воду и сѣрную кислоту до смѣшенія; потомъ, жидкости смѣшаемъ, и когда смѣсь остынетъ, снова произведемъ взвѣшиваніе; окажется, что вѣсъ смѣси равенъ суммѣ вѣсовъ смѣшанныхъ жидкостей. Между тѣмъ, во второмъ случаѣ много тепла выдѣлилось, и если бы теплородъ былъ вѣсомъ, то вѣсъ сѣрной кислоты и воды долженъ бы, послѣ смѣшенія и охлажденія, уменьшиться.

Хотя мы не знаемъ съ достовѣрностью, что такое теплородъ,—есть ли онъ жидкость, или вообще нѣчто вещественное, или, наконецъ, что бы то ни было другое,—но во всякомъ случаѣ можно съ увѣренностью

утверждать, что *теплородъ есть величина или количество, потому что можетъ быть измѣряемъ.* Но всякую величину можно измѣрять только другою, съ нею однородною; поэтому и теплородъ можно измѣрять только теплородомъ, принявъ нѣкоторое его количество за единицу мѣры, ибо мы не знаемъ никакой другой величины, съ нимъ однородной.

164. Единица теплорода. За единицу теплорода въ Россіи принимаютъ то его количество, которое можетъ возвысить температуру одного фунта воды на одинъ градусъ, во Франціи—количество тепла, потребное для нагрѣванія одного килограмма воды на ту же температуру. О количествѣ тепла, заключеннаго въ самой единицѣ, мы не имѣемъ понятія, какъ и о всякой другой единицѣ мѣры, ибо мы можемъ познавать только относительныя величины количествъ, чрезъ сравненіе съ другими, имъ однородными,—а не абсолютныя. Такъ, о продолжительности времени можно судить только по сравненію съ нѣкоторымъ промежуткомъ времени, принимаемымъ за единицу мѣры, напр. часомъ; объ абсолютной же величинѣ самого часа нельзя составить яснаго представленія. О вѣсѣ тѣла заключаютъ также только чрезъ сравненіе съ единицею вѣса, которая всетаки остается намъ неизвѣстною. Подобно этому, нельзя составить точное понятіе о количествѣ теплорода, заключеннаго въ его единицѣ; но, какъ скоро это неизвѣстное количество принято за единицу,—всякое другое количество теплорода можно выразить числомъ. Такимъ образомъ, одинъ фунтъ воды при 50^0 содержитъ теплорода 15 единицами болѣе, нежели то же количество воды при 35^0. Для возвышенія температуры 7 фунт. воды на 12 градусовъ, надо придать водѣ 7. 12 или 84 единицы теплорода; чтобы нагрѣть 6 фунт. воды отъ 0^0 до 75^0, нужно столько же тепла, какъ и для нагрѣванія 15 фунт. отъ 0^0 до 30^0, потому что въ обоихъ случаяхъ надо сообщить водѣ 450 единицъ.

Впрочемъ должно замѣтить, что, при настоящемъ состояніи науки, нельзя измѣрить весь теплородъ, заключенный въ тѣлѣ, а только то его количество, которое необходимо употребить, чтобы возвысить температуру на нѣкоторое число градусовъ. Такъ, мы знаемъ, что одинъ фунтъ воды при 10^0 содержитъ 10-ю единицами болѣе тепла, нежели при 0^0; но сколько всего теплорода въ фунтѣ воды при 10^0, мы не имѣемъ возможности вычислить. Такое вычисленіе однакоже легко будетъ исполнить, если когда нибудь опредѣлятъ, на сколько отстоитъ точка замерзанія термометра отъ *абсолютнаго нуля,* то есть температуры, при которой тѣла не содержатъ вовсе теплорода и, слѣдовательно, не могутъ болѣе охлаждаться и сжиматься. Опытъ не доказалъ возможности

такой температуры; если же она и существуетъ, то должна быть значительно ниже—140°, самой низкой температуры, которую удалось получить на опытѣ.

165. Средняя температура при смѣшеніи однородныхъ веществъ. Выраженіе количества теплорода посредствомъ числа весьма помогаетъ при рѣшеніи многихъ вопросовъ. Пусть смѣшаны двѣ массы воды: 9 фунт. при температурѣ въ 10° и 16 фунт. при 60°. Вторая масса уступитъ часть своего тепла первой, такъ что обѣ получатъ, наконецъ, одну и ту же температуру, которую требуется опредѣлить. Отдѣлимъ мысленно отъ 16 фунтовъ воды столько теплорода, чтобы эта жидкость имѣла такую же температуру, какъ и масса 9 фунтовъ, то есть 10°, и потомъ распредѣлимъ отнятую теплоту по всей массѣ смѣшенія равномѣрно. Одинъ фунтъ воды при 60° содержитъ 50-ю единицами теплорода болѣе, нежели при 10°; поэтому, отнявъ отъ 16 фунт. воды 50.16 или 800 единицъ теплорода, мы понизимъ ея температуру до 10°. Такимъ образомъ, будемъ имѣть вообще въ смѣси 25 фунтовъ воды при 10° и 800 единицъ теплорода. Распредѣливъ это количество теплорода по всей массѣ смѣшенія равномѣрно, найдемъ, что на каждый фунтъ приходится $^{800}/_{25}$ или 32 единицы. Поэтому, температура воды, послѣ смѣшенія, будетъ 10+32, то есть 42°. Опытъ подтверждаетъ сдѣланныя вычисленія.

Подобнымъ образомъ легко опредѣлить температуру не только двухъ массъ воды, но сколько бы ихъ ни было, приведя ихъ температуры къ наименьшей изъ данныхъ и распредѣливъ отнятое количество теплорода равномѣрно по всей массѣ. Не трудно также понять, что тотъ же пріемъ можно приложить къ опредѣленію средней температуры при смѣшеніи всякихъ однородныхъ веществъ.

Если для смѣшенія взяты двѣ равныя массы, то, поступая подобно предыдущему, легко убѣдиться, что средняя температура равна полусуммѣ данныхъ. Такъ, смѣшавъ 10 фунт. ртути при 20° съ 10 фунт. ртути при 130°, найдемъ, что средняя температура будетъ 75°.

Пусть вообще дано смѣшать a фунт. воды при $t°$ съ b фунт. при $s°$. Положимъ сверхъ того, что $s>t$. Чтобы привести массу b фунтовъ къ $t°$, надо отъ нея отнять $(s-t)b$ единицъ теплорода. Распредѣливъ послѣднее количество по всему смѣшенію равномѣрно, получимъ на каждый фунтъ $\frac{(s-t)b}{a+b}$ единицъ теплорода. Поэтому, средняя температура будетъ $t+\frac{(s-t)b}{a+b}$. Упростивъ это выраженіе приведеніемъ подобныхъ членовъ, найдемъ окончательно $\frac{ta+sb}{a+b}$. Изъ этой формулы, когда $a=b$, найдемъ $\frac{s+t}{2}$.

166. Теплоемкость. Когда смѣшиваются разнородныя вещества,

то среднюю температуру нельзя уже опредѣлить по способу, предложенному для жидкостей однородныхъ, потому что, для нагрѣванія разныхъ веществъ одинаковаго вѣса до одной и той же температуры, требуются неравныя количества теплорода. Если напр. смѣшать одинъ фунтъ воды при 0° съ однимъ фунтомъ ртути при 31°, то средняя температура будетъ не 15°, 5, какъ при однородныхъ веществахъ, но только 1°. Въ этомъ случаѣ, ртуть охладилась на 30 градусовъ; теплота, потерянная ртутью, перешла въ воду, которая нагрѣлась только на одинъ градусъ. Значитъ, ртуть требуетъ въ 30 разъ менѣе тепла, нежели вода, для возвышенія температуры на одно и то же число градусовъ.

Количество теплорода, потребное для нагрѣванія одного фунта какого либо вещества на 1° и выраженное въ единицѣ теплорода, называется *теплоемкостью* или *удѣльнымъ теплородомъ*. Такъ, изъ предыдущаго опыта выходитъ, что теплоемкость ртути есть $^1/_{30}$ или 0,0333...

Для опредѣленія теплоемкости существуютъ различные пріемы; приборы, съ этою цѣлью употребляемые, называются *калориметрами*.

Теплоемкость жидкостей можно довольно точно опредѣлить калометромъ Фавра и Зильбермана.

167. Калориметръ Фавра и Зильбермана. Этотъ приборъ (фиг. 252) имѣетъ видъ большого ртутнаго термометра *Arr*; въ резервуаръ его *A* вводятъ нагрѣтое тѣло, котораго теплоемкость желаютъ опредѣлить. Теплородъ испытуемаго вещества переходитъ въ ртуть и заставляетъ ее расширяться; по удлиненію столбика въ трубкѣ *rr* судятъ о теплоемкости, потому что чѣмъ болѣе теплоемкость, тѣмъ болѣе освобождается изъ тѣла теплорода, и тѣмъ болѣе расширяется ртуть.

Резервуаръ *A*, содержащій ртуть, обыкновенно бываетъ желѣзный; въ стѣнку его вдѣлана платиновая трубка *md*, погруженная въ самую массу ртути и запаянная снизу; она изображена отдѣльно въ *M*. Въ эту трубку опускаютъ другую изъ тонкаго стекла, а въ послѣднюю кладутъ испытуемое вещество, которое передаетъ свой теплородъ калориметру. Трубка *rr* раздѣлена на части равной емкости; нумерація дѣленій идетъ отъ резервуара *A* къ воронкѣ (на фигурѣ справа налѣво). Чрезъ отверстіе въ верхней части резервуара, погружается въ ртуть желѣзный поршень *h*, который служитъ продолженіемъ винта, входящаго въ гайку, и можетъ быть опущенъ, или приподнятъ, вращеніемъ рукоятки *p*. Въ первомъ случаѣ, т. е. когда поршень опускается, ртуть выдавливается изъ резервуара *A* въ трубку *rr*, во второмъ—атмосферное давленіе чрезъ трубку *rr* вгоняетъ ртуть назадъ, въ калориметръ. Такъ

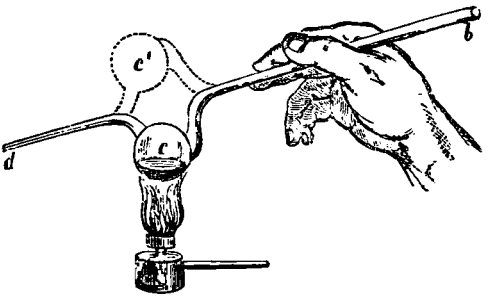
какъ внѣшній воздухъ можетъ имѣть вліяніе на объемъ ртути въ приборѣ, чрезъ охлажденіе или нагрѣваніе, то резервуаръ A заключаютъ въ деревянный ящикъ a, а пространство между стѣнками ящика и резервуаромъ наполняютъ непроводниками теплоты, напр., гагачьимъ пухомъ.

Наблюденія производятся слѣдующимъ образомъ. Во первыхъ необходимо опредѣлить, сколько надо сообщить калориметру единицъ теплорода, чтобы ртуть передвинулась въ трубкѣ на одно дѣленіе. Для этого въ трубку M калориметра надо ввести нагрѣтое тѣло, котораго температура и теплоемкость извѣстны; лучше взять воду, приведенную въ кипѣніе, потому что температуру кипѣнія легче опредѣлить, нежели какую нибудь другую. Затѣмъ, приведя, вращеніемъ рукоятки p, ртуть къ нулю дѣленій шкалы, выливаютъ воду въ стеклянную трубку, вставленную въ платиновую M. Послѣднюю запираютъ пробкой, чтобы теплота не терялась наружу. Теплородъ изъ воды переходитъ въ ртуть калориметра, которая отъ того расширяется и двигается по трубкѣ rr. Чтобы передача совершалась скорѣе, въ платиновую трубку M наливаютъ предварительно немного ртути. Необходимо подождать, пока ртуть въ трубкѣ rr не перестанетъ двигаться; это произойдетъ въ ту пору, когда вода не будетъ больше уступать своей теплоты калориметру. Замѣчаютъ n, нумеръ дѣленія, на которомъ ртуть остановилась въ трубкѣ rr, и опредѣляютъ температуру t воды. Затѣмъ взвѣшиваютъ трубку вмѣстѣ съ водою. Если извѣстенъ вѣсъ одной трубки безъ воды, то легко будетъ найти вѣсъ воды; назовемъ его чрезъ a фунт. Пусть T означаетъ температуру кипѣнія воды; тогда пониженіе температуры будетъ $T-t$; поэтому, если бы воды былъ одинъ фунтъ, то число единицъ теплоты, уступленныхъ ртути водою, равнялось бы $T-t$; но какъ вода вѣсила a фунт., то ртуть пріобрѣла $(T-t)a$ единицъ тепла. Это число соотвѣтствуетъ n дѣленіямъ, на которыя ртуть перемѣстилась въ трубкѣ. Слѣдовательно, калориметру надо сообщить $\frac{(T-t)a}{n}$ единицъ тепла, чтобы ртуть въ трубкѣ rr подвинулась на одно дѣленіе. Пусть $\frac{(T-t)a}{n}=q$.

Кипяченіе воды производится въ приборѣ dcb (фиг. 253), состоящемъ изъ шарика c и двухъ изогнутыхъ колѣнъ d и b. Шарикъ c наполняютъ водою, погружая одно колѣно въ сосудъ съ этою жидкостью, а чрезъ другое втягивая воздухъ. Когда вода доведена до кипѣнія, то конецъ d погружаютъ въ трубку M калориметра, приборъ dcb перевертываютъ въ положеніе c', и вода выливается въ трубку M.

Зная число q, не трудно уже найдти теплоемкость какой-либо жид-

кости; назовемъ ее чрезъ c. Опредѣленное количество b вещества нагрѣваютъ до температуры S и вводятъ въ калориметръ; замѣчаютъ окончательную температуру s жидкости и число дѣленій m, на которое перемѣстилась ртуть въ трубкѣ. Если бы теплоемкость испытуемаго вещества была 1, то количество теплоты, уступленное веществомъ калориметру, равнялось бы $(S-s)b$, но, какъ теплоемкость c вообще не равна единицѣ, то это количество теплоты выразится числомъ $(S-s)b.\ c$. Съ другой стороны, перемѣщеніе ртути въ трубкѣ показываетъ, что то же количество теплоты равно qm. Такимъ образомъ, получается уравненіе:

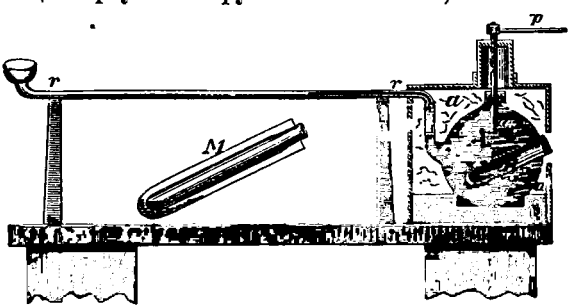


Фиг. 253.

$$(S-s)bc=qm,$$

откуда находимъ искомую теплоемкость

$$=c\,\frac{qm}{(S-s)b}$$

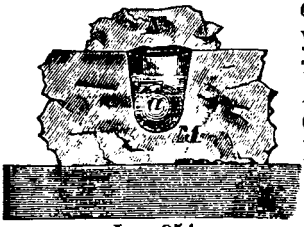


Фиг. 252.

Чтобы знать температуру S по возможности точно, испытуемое вещество кладутъ въ металлическую коробку, которую держатъ въ ваннѣ изъ воды, или какой либо другой жидкости, до тѣхъ поръ, пока можно быть увѣреннымъ, что вещество получило температуру жидкости. Конечно лучше нагрѣвать ванну до какой либо постоянной температуры, наприм. до кипѣнія. Если ищутъ теплоемкость жидкости, которой температура кипѣнія не очень высока, какъ у виннаго спирта, или сѣрнаго эфира, то погружать жидкость въ особую ванну излишне, а достаточно довести до кипѣнія въ сосудѣ dcb (фиг. 253).—Калориметръ Фарва и Зильбермана болѣе приспособленъ къ опредѣленію теплоемкости жидкостей, чѣмъ твердыхъ тѣлъ, потому что въ послѣднемъ случаѣ опредѣленіе окончательной температуры S весьма затруднительно.

168. Калориметръ Лавуазье и Лапласа. Калориметръ Лавуазье и Лапласа основанъ на томъ началѣ, что ледъ, при таяніи, поглощаетъ теплородъ, и что количество растаявшаго льда пропорціонально количеству теплорода, то есть, во сколько разъ больше расплавлено льда, во столько же разъ болѣе потрачено теплорода. Для обращенія одного фунта льда, имѣвшаго 0°, въ воду той же температуры, потребно 79 единицъ теплорода [180]. Если нагрѣть какое нибудь вещество и погрузить его въ ледъ, то, по количеству воды, которая получится отъ таянія льда, можно будетъ опредѣлить количество тепла,

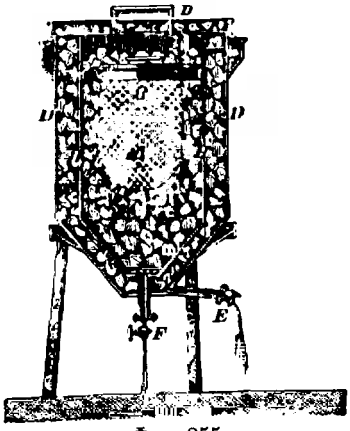
потерянное испытуемымъ веществомъ, а отсюда его теплоемкость. Берутъ кусокъ льда M (фиг. 254) при 0°, дѣлаютъ въ немъ углубленіе, въ которое кладутъ испытуемое нагрѣтое тѣло a, и закрываютъ его ледяною пластинкою N. Ледъ станетъ плавиться, и тѣло охладится до 0°. Потомъ опредѣляютъ вѣсъ полученной воды. Назовемъ его чрезъ p. Тогда количество теплоты, употребленное на плавленіе льда, будетъ $79p$. Если при томъ тѣло имѣло первоначальную температуру t, вѣсъ b и теплоемкость c, то потеряло btc единицъ тепла. Слѣдовательно,



Фиг. 254.

$$btc = 79p, \text{ откуда } c = \frac{79p}{bt}.$$

Трудность добыть большіе куски льда безъ дыръ и трещинъ, изъ которыхъ невозможно извлечь всю воду, не позволяетъ получать точные результаты. Въ калориметрѣ Лавуазье и Лапласа это обстоятельство отчасти устранено. Этотъ приборъ состоитъ изъ проволочной коробки B (фиг. 255), въ которую кладутъ нагрѣтое тѣло A, и которую погружаютъ въ сосудъ H съ тающимъ льдомъ. Но какъ таяніе льда можетъ происходить не только отъ охлажденія тѣла, но и отъ внѣшняго воздуха, то сосудъ H заключается въ другой D, также наполненный тающимъ льдомъ. Тогда, во внутреннемъ сосудѣ H, таянія около стѣнокъ происходить не будетъ, а только въ соприкосновеніи съ коробкой B. Вода выпускается чрезъ трубки F и E; конечно, измѣряется только та жидкость, которая вытекла изъ трубки F.



Фиг. 255.

Калориметръ Лавуазье и Лапласа подверженъ многимъ погрѣшностямъ, изъ которыхъ назовемъ главнѣйшую. Когда открываютъ кранъ F до опыта и послѣ, то не вся вода вытекаетъ; значительная часть ея прилипаетъ къ кускамъ льда. Если бы, въ томъ и другомъ случаяхъ, въ приборѣ оставалось одно и то же количество воды, то погрѣшность была бы вознаграждена, но этого не бываетъ, потому что расположеніе кусковъ льда, ихъ форма и величина, при таяніи, измѣняются.

Для нахожденія теплоемкости твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, чаще употребляется иной способъ, называемый *способомъ смѣшенія*, который хотя менѣе удобенъ, но даетъ болѣе надежные результаты.

169. Способъ смѣшенія. Въ латунный сосудъ съ тонкими стѣнками наливаютъ воды; вѣсъ ея и температура должны быть извѣстны. Потомъ тѣло, котораго теплоемкость желаютъ опредѣлить, взвѣшиваютъ и, нагрѣвъ до нѣкоторой степени, опускаютъ въ воду. Температура этой жидкости измѣнится, и, когда достигнетъ постоянной величины, наблюдается посредствомъ погруженнаго въ нее термометра. Изъ этихъ данныхъ можно опредѣлить теплоемкость испытуемаго вещества.

Пусть b—вѣсъ испытуемаго вещества, c—его теплоемкость, t—температура, p—вѣсъ воды въ калориметрѣ, s—ея температура, причемъ $s<t$. Нагрѣтое тѣло уступаетъ свою теплоту не только водѣ, но и стѣнкамъ калориметра, термометру и стеклянной мѣшалкѣ. Назовемъ чрезъ p_1 вѣсъ латуни, изъ которой сдѣланъ калориметръ, c_1—ея теплоемкость, p_2—вѣсъ ртути термотетра, c_2—ея теплоемкость, p_3—вѣсъ стекла термометра и мѣшалки, c_3—теплоемкость. Пусть T—окончательная температура.—Охладясь отъ t° до T°, нагрѣтое тѣло потеряло $bc(t-T)$ единицъ теплоты, которая распредѣлилась между веществами калориметра: вода получила $p(T-s)$, латунь—$p_1c_1(T-s)$, ртуть—$p_2c_2(T-s)$, стекло—$p_3c_3(T-s)$. Слѣдовательно,

$$bc(t-T)=p(T-s)+p_1c_1(T-s)+p_2c_2(T-s)+p_3c_3(T-s).$$

Послѣдніе три члена весьма малы и при изслѣдованіяхъ, не требующихъ большой точности, ими можно пренебречь; тогда искомая величина c вычисляется изъ предыдущаго равенства. Въ противномъ случаѣ надо знать величины c_1, c_2 и c_3, заимствуя ихъ изъ прежнихъ наблюденій, или сдѣлавъ три испытанія: надъ латунью, ртутью и стекломъ; изъ предыдущаго уравненія получатся три уравненія съ тремя неизвѣстными: c_1, c_2 и c_3, изъ коихъ каждая опредѣлится

170. Теплоемкость газовъ. Въ отношеніи газовъ различаютъ двѣ теплоемкости: *теплоемкость при постоянномъ объемѣ* и *теплоемкость при постоянномъ давленіи*. Подъ первою разумѣютъ количество теплорода, потребное для повышенія температуры одного фунта газа на 1°, если газъ заключенъ въ закрытое со всѣхъ сторонъ пространство; при этомъ газъ, конечно, не расширяется, но зато увеличивается его упругость. Теплоемкостью при постоянномъ давленіи называется количество теплорода, потребное для нагрѣванія одного фунта газа на 1°, если газъ можетъ свободно расширяться, такъ что упругость его при этомъ не измѣняется и остается равною внѣшнему давленію.

Теплоемкость газовъ при постоянномъ давленіи была предметомъ изслѣдованія многихъ ученыхъ. Труды Делярошa и Берара и въ особенности Реньо заслуживаютъ наибольшаго вниманія.

Идея метода Реньо весьма проста. Равномѣрную струю газа пропускаютъ по спиралеобразной трубкѣ, погруженной въ сосудъ съ масломъ, которое, помощію спиртовой лампы, поддерживаютъ при постоянной температурѣ. Теченіе газа не очень быстро, а трубка столь длинна, что, по выходѣ изъ нея, газъ пріобрѣтаетъ температуру масла и немедленно вступаетъ въ калориметръ, который состоитъ изъ нѣсколькихъ сосудовъ, соединенныхъ между собою трубками и погруженныхъ въ холодную воду. Нагрѣтый газъ проходитъ послѣдовательно чрезъ всѣ эти сосуды, оставаясь тамъ довольно долго, потому что каждый сосудъ есть ничто иное, какъ одинъ длинный спиральный ходъ. Находясь продолжительное время въ прикосновеніи съ водою, газъ уступаетъ ей весь излишекъ теплоты и выходитъ наружу съ температурою калориметра.

Зная количество пропущеннаго газа, температуру масла, начальную и конечную температуру воды и ея вѣсъ, можно вычислить, сколько газъ уступилъ водѣ тепла, откуда уже можно найти теплоемкость его при постоянномъ давленіи.

До сихъ поръ нѣтъ точнаго способа опредѣлять непосредственно теплоемкость газовъ при постоянномъ объемѣ; впрочемъ, есть нѣсколько пріемовъ, хотя далеко неудовлетворительныхъ, помощію которыхъ находятъ отношеніе теплоемкости газа при постоянномъ давленіи къ теплоемкости при постоянномъ объемѣ. Изъ этихъ изысканій оказалось, что первая теплоемкость болѣе второй, и что отношеніе ихъ для воздуха—1,421, водорода—1,415, кислорода—1,407.

171. Слѣдствія. Изслѣдованія, помощію указанныхъ пріемовъ и другихъ, надъ твердыми, жидкими и газообразными тѣлами показали: наибольшая теплоемкость принадлежитъ водороду; затѣмъ, слѣдуетъ вода; теплоемкость прочихъ веществъ менѣе 1. Тѣла въ твердомъ и газообразномъ состояніяхъ имѣютъ меньшую теплоемкость, нежели въ жидкомъ. Такъ, для льда и водяного пара теплоемкость равна $^1/_2$, между тѣмъ какъ для воды—1. Всѣ причины, способствующія уплотненію твердаго, или жидкаго тѣла, уменьшаютъ его теплоемкость. Такъ, при кованіи металловъ, плотность ихъ увеличивается, и теплоемкость уменьшается. По опытамъ Реньо, удѣльный теплородъ красной мѣди литой равенъ 0,09501, а кованой—0,09360. Алмазъ, графитъ, древесный уголь и другія видоизмѣненія углерода имѣютъ различную плотность: наибольшая принадлежитъ алмазу, наименьшая — древесному углю. Теплоемкость слѣдуетъ обратному порядку. Теплоемкость алмаза равна 0,14, графита—0,20, а древеснаго угля—0,24. Газы представляютъ иное явленіе. Удѣльный теплородъ воздуха, водорода и углекислаго газа, съ увеличеніемъ давленія до 12 слишкомъ атмосферъ, наибольшаго испытаннаго сгущенія при опытахъ этого рода, не измѣняется, или, по крайней мѣрѣ, чрезвычайно мало, то есть количество тепла, потребное для нагрѣванія газовъ, не зависитъ отъ занимаемаго ими объема, а только отъ вѣса; чтобы нагрѣть, напр., 1 фунтъ водорода на 1^0, нужно одно и то же количества тепла, будетъ ли это газъ въ сгущенномъ, или разрѣженномъ состояніи. Тотъ же законъ вѣроятно относится и до другихъ газовъ, потому что три испытанные газа весьма различны между собою по своимъ физическимъ свойствамъ: по степени расширенія при нагрѣваніи, по уклоненію отъ закона Маріотта, плотности и, наконецъ, по тому, что температура и давленіе, при которыхъ они переходятъ въ жидкое состояніе, весьма различны для каждаго изъ этихъ газовъ [209].

При возвышеніи температуры, теплоемкость всѣхъ веществъ увеличивается болѣе или менѣе значительно; такъ, теплоемкость алмаза при -50^0 равна 0,0635, а при 985^0—0,4589. Напротивъ, теплоемкость воды измѣняется такъ мало, что отъ 0^0 до 100^0 ее можно считать постоянною.

Таблица теплоемкости воды.

Температура.	Теплоемкость.	Темпертураа.	Теплоемкость.
0°	1,0000	120°	1,0177
20	1,0012	140	1,0232
40	1,0030	160	1,0294
60	1,0056	180	1,0364
80	1,0089	200	1,0444
100	1,0130	240	1,0568

Теплоемкость платины при 0° равна 0,0317, а при 1200°—0,461, палладія при 0°—0,0582, при 1300°—0,842.

Измѣненіе теплоемкости воздуха и водорода, съ возвышеніемъ температуры, также весьма слабо. Напротивъ, удѣльный теплородъ угольнаго ангидрида, и, вѣроятно, прочихъ газовъ, которые легко переходятъ въ жидкое состояніе, замѣтно увеличивается съ температурою.

Ниже приведена таблица теплоемкости разныхъ твердыхъ и жидкихъ веществъ, а также газовъ при постоянномъ давленіи:

Названіе веществъ.	Теплоемкость.	Названіе веществъ.	Теплоемкость.
Водородъ	3,4090	Стекло.	0,1770
Вода.	1	Хлоръ.	0,1210
Алкоголь.	0,6725	Серебро	0,0557
Амміакъ	0,5084	Ртуть	0,0333
Воздухъ	0,2374		

172. Законъ теплоемкости атомовъ. Дюлонгъ и Пти, опредѣливъ теплоемкость тринадцати простыхъ веществъ и сравнивъ ихъ съ химическими паями, нашли, что *произведеніе теплоемкости каждаго тѣла на его химическій пай равняется постоянному числу*. Хотя Реньо доказалъ, что это произведеніе, равное приблизительно 6,4, бываетъ нѣсколько болѣе или менѣе, однакоже въ настоящее время открытіе Дюлонга и Пти считаютъ общимъ закономъ, объясняя отступленія отъ него различіемъ обстоятельствъ, въ которыхъ испытуемыя вещества находятся; такъ, теплоемкости тѣлъ были измѣрены въ разныхъ разстояніяхъ отъ точки кипѣнія; при возвышеніи температуры, теплоемкость увеличивается и проч.

Переходъ тѣлъ изъ одного состоянія въ другое.

173. Плавленіе и отвердѣваніе. Всякое твердое тѣло, будучи нагрѣваемо, достигаетъ, наконецъ, температуры, при которой начинаетъ переходить въ жидкое состояніе, если только ранѣе этого не разлагается

на свои составныя части, какъ напр. дерево. Явленіе это называется *плавленіемъ* или *таяніемъ*. Температура, при которой оно совершается, весьма различна для разныхъ тѣлъ; напр. ледъ плавится при 0°, свинецъ—при 326°, а желѣзо, платина, кварцъ—только въ самомъ сильномъ жару. Есть даже тѣла, которыя до сихъ поръ не были расплавлены; таковы: углеродъ и боръ. Впрочемъ, по мѣрѣ усовершенствованія способовъ получать высокія температуры, число такихъ *огнеупорныхъ* тѣлъ уменьшается; такъ, Дюпре удалось довести уголь до такого состоянія, что онъ сдѣлался очень мягокъ и гибокъ, и обнаружилъ вообще признаки близкаго плавленія. Все это заставляетъ насъ думать, что всякое твердое тѣло можетъ сдѣлаться жидкимъ; стоитъ только достаточно возвысить его температуру.

Если жидкость охлаждать, то, наконецъ, она переходитъ въ твердое состояніе. Это явленіе называется *отвердѣваніемъ* или *замерзаніемъ* (напр. для воды) и совершается при той же температурѣ, какъ и плавленіе. Нѣкоторыя жидкія тѣла до сихъ поръ не удалось обратить въ твердыя, какъ напримѣръ алкоголь, сѣрный эфиръ, сѣрнистый углеродъ и проч., но нѣтъ сомнѣнія, что этого возможно достигнуть, понижая достаточно температуру. Депре, подвергнувъ алкоголь сильному охлажденію, довелъ эту жидкость до густоты сиропа.

Каждое тѣло опредѣленнаго состава плавится всегда при одной и той же температурѣ, которая во все время плавленія остается постоянною. Если напр. внесемъ въ теплую комнату ледъ при—10°, то онъ скоро нагрѣется до 0° и сохранитъ эту температуру, пока весь не растаетъ, послѣ чего температура опять станетъ повышаться. То же самое должно сказать и объ отвердѣваніи: если какую либо жидкость помѣстимъ въ среду, имѣющую низкую температуру, то жидкость охлаждается до тѣхъ поръ, пока не начнетъ отвердѣвать, а потомъ, во все время перехода въ твердое состояніе, сохраняетъ постоянную температуру.

Таблица температуръ плавленія.

Ртуть	— 39°	Натрій	90
Бромъ	— 20	Іодъ	107
Ледъ	0	Сѣра	110
Галій	30	Олово	230
Коровье масло	33	Цинкъ	360
Фосфоръ	44	Серебро	916
Параффинъ	46	Золото	1037
Калій	58	Желѣзо	отъ 1350 до 1400
Бѣлый воскъ	69	Платина	— 1460 — 1480

Почти всѣ тѣла природы при плавленіи увеличиваются въ объемѣ; слѣдовательно, плотность тѣлъ при плавленіи уменьшается; таковы: воскъ, стеаринъ, параффинъ, свинецъ, олово, мѣдь и проч. Небольшое число веществъ представляютъ обратное явленіе: они при плавленіи въ объемѣ сокращаются; таковы: вода, чугунъ, висмутъ, сурьма и нѣкоторые сплавы. Отъ этого, ледъ въ водѣ плаваетъ, а твердый воскъ тонетъ въ жидкомъ.

Сила, съ которою вода расширяется при замерзаніи, чрезвычайно велика. Пробовали заключить ее въ прочный желѣзный сосудъ, запираемый желѣзной пробкой, на которую накладывали огромные грузы; каждый разъ, переходя въ твердое состояніе, вода подымала пробку и выходила частію наружу. Уильямъ наливалъ воду въ бомбу и закупоривалъ наглухо пробкой. При замерзаніи воды, либо лопалась бомба, либо выскакивала пробка и отбрасывалась на большое разстояніе, а изъ отверстія выходилъ ледяной столбъ. Если бутылку, наполненную водою, выставить на морозъ, то, даже не закупоренная, бутылка неминуемо лопнетъ; ледъ, образующійся въ ея горлышкѣ, служитъ вмѣсто пробки. Висмутъ, расплавленный въ пробиркѣ (стеклянной трубкѣ, запаянной съ одной стороны), разрываетъ трубку при переходѣ въ твердое состояніе. Чугунъ считается хорошимъ матеріаломъ для отливки потому, что съ большой отчетливостью выполняетъ всѣ неровности формы; это происходитъ отъ свойства его расширяться при отвердѣваніи.

174. На температуру перехода вещества изъ твердаго состоянія въ жидкое и обратно оказываетъ незначительное вліяніе давленіе, подъ которымъ тѣло находится. Если вещество при плавленіи уменьшается въ объемѣ, какъ вода, чугунъ и проч., то, съ возрастаніемъ давленія, температура плавленія понижается; въ тѣлахъ, расширяющихся при переходѣ изъ твердаго состоянія въ жидкое, каковы параффинъ, воскъ, фосфоръ и проч., температура плавленія при увеличиваніи давленія, возвышается. Такъ, при давленіи 16,8 атмосферъ ледъ таетъ не при 0^0, а при—0^0, 129. Параффинъ, при давленіи въ 1 атмосферу, плавится при 46^0, 3; когда же давленіе возрастаетъ до 156 атмосферъ, то точка плавленія будетъ 50^0,9. Этимъ, между прочимъ, объясняется пластичность льда. Если подвергать сильному давленію раздробленный ледъ, то онъ таетъ въ точкахъ соприкосновенія кусковъ; образующаяся вода наполняетъ промежутки между льдинками; такъ какъ здѣсь давленіе несравненно меньше и температура воды ниже 0^0, то она снова замерзаетъ. Такимъ образомъ, получается сплошная, прозрачная ледяная масса, имѣющая форму вмѣстилища, въ которомъ ледъ сдавливали. Подобное явленіе представляетъ снѣгъ; будучи подвергнутъ сильному давленію, онъ превращается въ сплошную массу льда. Сдавливаніе можно произвесть въ приборѣ, состоящемъ изъ прочнаго полаго металлическаго цилиндра *a* (фиг. 256), съ плотно движущимся въ немъ поршнемъ *b*; дно *m* ци-

линдра и конецъ поршня имѣютъ углубленія, которыя образуютъ полость *c* какой-либо формы, напр. шара. Въ цилиндръ насыпаютъ толченаго льду или снѣгу, и поршень придавливаютъ гидравлическимъ прессомъ, или ударомъ молота. Если потомъ отвинтить дно *m*, то найдемъ сплошной, прозрачный ледяной шаръ. При раствореніи въ водѣ минеральныхъ солей, алкоголя и проч. точка замерзанія понижается; замерзаетъ, впрочемъ, только вода *), и крѣпость раствора увеличивается. При нѣкоторой болѣе или менѣе низкой температурѣ, когда растворъ достигаетъ состоянія насыщенія, вся жидкость переходитъ въ твердое состояніе. Сплавы многихъ металловъ плавятся при температурѣ, болѣе низкой, чѣмъ каждый изъ металловъ, входящихъ въ составъ сплава. Такъ, наприм., висмутъ, свинецъ, олово и кадмій, взятые въ нѣкоторой пропорціи, даютъ сплавъ съ точкой плавленія только въ 65°.

175. Многія жидкости могутъ быть, при соблюденіи нѣкоторыхъ условій, охлаждены ниже температуры плавленія, оставаясь жидкими. Подобное явленіе представляетъ вода, когда она находится въ спокойномъ состояніи; если притомъ она не содержитъ въ растворѣ воздуха (для этого воду надо прокипятить) и отдѣлена отъ атмосферы слоемъ масла, то температура можетъ быть понижена до—12°. Но достаточно встряхнуть сосудъ, или коснуться воды кускомъ льда, и тотчасъ же часть ея мгновенно замерзаетъ, а температура всей массы—твердой и жидкой—возвышается до 0°.

Въ спокойномъ состояніи, расплавленная сѣра, будучи постепенно охлаждаема, можетъ сохранить свое жидкое состояніе даже при обыкновенной температурѣ. Металлъ галлій можетъ быть жидкимъ при 0°. Подобное свойство имѣютъ нѣкоторые водные растворы. Депре наблюдалъ воду въ волосныхъ трубкахъ при—20°.

176. Твердыя тѣла, незадолго до перехода ихъ въ жидкое состояніе, размягчаются, на большемъ или меньшемъ разстояніи отъ точки плавленія. На этомъ основано приготовленіе металлическихъ вещей (платиновыхъ, желѣзныхъ, мѣдныхъ и проч.) посредствомъ кованія. Ледъ между—2° и 0° представляетъ замѣтное размягченіе; но въ высшей степени оно наблюдается въ стеклѣ, почему и само явленіе называется *стеклообразнымъ плавленіемъ*. Свойство стекла размягчаться даетъ возможность приготовлять изъ него разнообразныя вещи, весьма полезныя при химическихъ и физическихъ изысканіяхъ.

177. Кипѣніе и ожиженіе. Если жидкость, налитую въ сосудъ, подогрѣвать снизу, то появляются восходящіе и нисходящіе потоки [158], распредѣляющіе теплоту повсюду равномѣрно; наконецъ, жид-

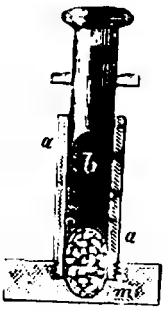
*) За немногими исключеніями (напр. хлористый кальцій).

кость приходитъ въ сильное волненіе и постепенно обращается въ газообразное состояніе, въ которомъ она называется *паромъ*, а само явленіе—*кипѣніемъ*.

Температура кипящей жидкости и температура образующагося изъ нея пара не измѣняются во все время кипѣнія.

Не всѣ тѣла при тѣхъ средствахъ, какими обладаетъ наука въ настоящее время, можно привести въ кипѣніе; но нѣтъ сомнѣнія, что достаточнымъ возвышеніемъ температуры можно всякое тѣло довести до этого состоянія.

Если пространство, запертое со всѣхъ сторонъ, наполнимъ паромъ какой либо жидкости и будемъ это пространство уменьшать, сгущая такимъ образомъ паръ, или станемъ понижать температуру, то паръ начнетъ переходить въ жидкое состояніе. Это явленіе называется *ожиженіемъ*. Пары, пока не достигли состоянія ожиженія, почти всегда прозрачны, безцвѣтны и невидимы подобно воздуху; но, припереходѣ въ жидкое состояніе, они образуютъ весьма мелкіе жидкіе шарики и дѣлаются видимыми.



Фиг. 256.

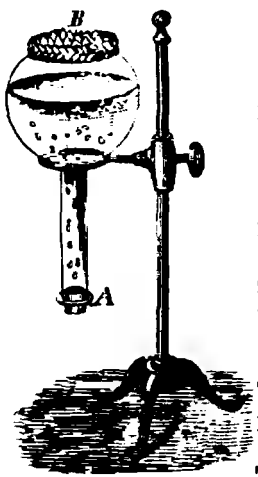
Паръ, освобождающійся изъ жидкости при ея кипѣніи, появляется сначала съ небольшимъ шумомъ въ точкахъ сосуда, соприкасающихся непосредственно съ огнемъ, въ видѣ пузырьковъ, которые, подымаясь по легкости вверхъ, охлаждаются верхними слоями жидкости и переходятъ снова въ жидкое состояніе, не достигнувъ ея поверхности. Наконецъ, жидкость такъ нагрѣвается, что не можетъ болѣе переводить паръ въ жидкое состояніе,—и паръ выходитъ наружу, приводя всю жидкость въ волненіе; затѣмъ, смѣшиваясь съ воздухомъ, онъ охлаждается, превращается въ маленькіе жидкіе шарики и является надъ жидкостью въ видѣ непрозрачнаго облака.

Если нагрѣваютъ смѣсь двухъ или болѣе веществъ, то сначала закипаетъ то вещество, котораго температура кипѣнія ниже. Въ случаѣ, напримѣръ, алкоголя и воды, кипитъ сначала первый; потомъ, мало-помалу, къ парамъ алкоголя примѣшиваются водяные пары. При кипяченіи раствора какой нибудь соли (напр. поваренной) въ водѣ, обращается въ пары только вода, а соль остается въ растворѣ.

Нѣкоторыя жидкости, не обращаясь въ пары, разлагаются на свои составныя части; сюда принадлежатъ, между прочимъ, жирныя масла: конопляное, подсолнечное и друг.

178. Температуры жидкости въ кипѣніи и пара зависятъ отъ давленія атмосферы или другого газа на поверхность жидкости: чѣмъ дав-

леніе болѣе, тѣмъ температура выше. Если подъ колоколъ воздушнаго насоса поставить сосудъ съ теплою водой, то, при достаточной степени разрѣженія воздуха, вода закипитъ, хотя температура ея въ это время будетъ менѣе 100°. Этимъ объясняется, почему на вершинѣ горы, гдѣ давленіе атмосферы менѣе, нежели у подошвы, вода закипаетъ при температурѣ, меньшей 100°. Помѣщая сосудъ съ водою подъ стеклянный колоколъ, въ которомъ станемъ сгущать воздухъ, можно поднять точку кипѣнія далеко за 100°.



Фиг. 257.

Вотъ еще опытъ. Берутъ колбу съ длиннымъ горломъ и кипятятъ налитую въ нее воду до тѣхъ поръ, пока пары не вытѣснятъ весь воздухъ; потомъ, закупориваютъ горло пробкой и опрокидываютъ въ положеніе *BA* (фиг. 257). Кипѣніе жидкости прекратится. Но если на дно *B* колбы положимъ льду, или мокрую губку, то часть пара обратится въ воду, давленіе на поверхность жидкости уменьшится, и вода снова закипитъ, хотя температура ея будетъ значительно ниже 100°.

Въ слѣдующей таблицѣ показано возрастаніе температуры кипѣнія воды съ давленіемъ на ея поверхность.

Давленія въ милл. 2, 5, 17, 149, 525, 760, 1075, 4651, 20926. Точки кипѣнія—10°, 0°, 20°, 60°, 90°, 100°, 110°, 160°, 230°.

Температурой или *точкой кипѣнія* называется температура пара, освобождающагося изъ кипящей жидкости, которая находится подъ внѣшнимъ давленіемъ, измѣряемымъ столбомъ ртути въ 760^{mm} или приблизительно въ 30 д.

Температура кипѣнія для разныхъ веществъ различна, что видно изъ прилагаемой ниже таблицы:

Сѣрнистый ангидридъ .	— 10°	Азотная кислота . . .	86°
Сѣрный эфиръ	+ 37	Вода	100
Сѣроуглеродъ	48	Терпентинъ	157
Хлороформъ	63	Ртуть	350
Алкоголь	78		

На температуру кипящей жидкости оказываютъ вліяніе примѣси. Такъ напр., дистиллированная вода закипаетъ легче, нежели обыкновенная и морская, гдѣ находятся въ растворѣ разныя соли. Чѣмъ болѣе растворено постороннихъ веществъ, тѣмъ выше точка кипѣнія: если растворить въ водѣ 20% поваренной соли, то кипѣніе будетъ при 105°, 5; новое прибавленіе 10% возвышаетъ температуру еще на $2^1/_2$°. При этомъ

въ пары обращается только вода, а прочія вещества остаются въ сосудѣ, отъ чего растворъ дѣлается гуще, и температура жидкости повышается. Примѣсь къ водѣ алкоголя, или вообще вещества, которое закипаетъ при температурѣ ниже 100°, понижаетъ температуру кипѣнія. Вещество сосуда оказываетъ также вліяніе: если стѣнки сосуда смачиваются жидкостью, то температура жидкости бываетъ выше, нежели въ противномъ случаѣ. Такъ, въ стеклянномъ сосудѣ, особенно когда онъ хорошо вымытъ, вода кипитъ при 101° и болѣе, между тѣмъ какъ въ мѣдномъ—только при 100°. Впрочемъ и въ первомъ случаѣ температуру можно понизить до 100°, набросавъ въ воду желѣзныхъ опилокъ.

Эти обстоятельства, т. е. вещество сосуда, въ которомъ жидкость кипитъ, и количество растворенныхъ въ ней солей, оказываютъ, безъ сомнѣнія, вліяніе на температуру пара; весьма вѣроятно, что обѣ температуры—кипящей жидкости и освобождающагося изъ нея пара—равны между собою, хотя доселѣ не могли убѣдиться въ этомъ изъ опыта. Но каково бы ни было вещество сосуда, въ которомъ кипитъ вода (и вѣроятно всякая другая жидкость), содержитъ ли она въ растворѣ минеральныя примѣси, или совершенно чиста,—термометръ, помѣщенный въ ея парахъ, показываетъ одну и ту же температуру, которая зависитъ только отъ давленія на поверхность жидкости.

Это замѣчательное явленіе объясняютъ слѣдующимъ образомъ. Если водяной паръ, выдѣляющійся изъ воднаго раствора соли, встрѣчаетъ на пути тѣла менѣе высокой температуры (наприм. стѣнки сосуда и термометра), то осаждается и покрываетъ ихъ тонкимъ слоемъ чистой воды, безъ постороннихъ минеральныхъ примѣсей. Вода стекаетъ съ болѣе возвышенныхъ, холодныхъ частей внизъ, гдѣ, подвергаясь дѣйствію горячаго пара, приходитъ въ кипѣніе. Изъ этого ясно, что термометръ долженъ показывать точку кипѣнія чистой воды, а не температуру пара, освобождающагося изъ соленаго раствора. Чтобы убѣдиться въ справедливости этого объясненія, надо бы погрузить въ пары совершенно сухой термометръ, предварительно нагрѣтый выше температуры 100°, и устранить по возможности охлаждающее дѣйствіе воздуха. Магнусъ именно поступилъ такимъ образомъ *) и нашелъ, что нагрѣтый предварительно термометръ охладился до нѣкоторой постоянной температуры, которая всегда была выше, чѣмъ при кипѣніи воды, но ниже, однакоже, температуры соленаго раствора, потому что охлаждающее дѣйствіе среды не было устранено вполнѣ; чѣмъ гуще былъ растворъ, тѣмъ болѣе высокую температуру показывалъ термометръ.

Нѣкоторыя жидкости кипятъ не непрерывно, но взрывами; таковы сѣрная кислота, вода, когда она не содержитъ въ растворѣ воздуха, и другія. Кипѣніе сѣрной кислоты въ стеклянномъ сосудѣ происходитъ такъ. Температура сначала возвышается значительно далѣе точки кипѣнія, а жидкость еще не за-

*) Его приборъ былъ устроенъ на подобіе прибора, изображеннаго на фиг. 276, съ тою, однакоже, разницею, что пары впускались въ наружную трубку непосредственно изъ котла.

*

кипаетъ; потомъ, мгновенно образуется большое количество паровъ, происходитъ взрывъ, температура тотчасъ понижается до той, при которой жидкость можетъ кипѣть въ обыкновенномъ состояніи, и отдѣленіе паровъ прекращается. Затѣмъ, все повторяется въ томъ же порядкѣ. Взрывы иногда столь сильны, что сосудъ разбивается. Кипѣніе сѣрной кислоты можетъ быть сдѣлано болѣе равномѣрнымъ, если набросать въ нее кусковъ платиновой проволоки.

179. Испареніе. Жидкости обращаются въ пары не только при кипѣніи, но и при температурахъ болѣе низкихъ. Такое явленіе называется *испареніемъ*; оно существенно отличается отъ кипѣнія тѣмъ, что можетъ быть при всякой температурѣ и происходитъ только на поверхности жидкости, между тѣмъ какъ кипѣніе совершается всегда при опредѣленной температурѣ, постоянной для одного и того же тѣла и во все время кипѣнія. Въ существованіи испаренія насъ убѣждаютъ многія явленія. Вода, налитая въ плоскій сосудъ, замѣтно убываетъ, а капля сѣрнаго эфира исчезаетъ въ нѣсколько секундъ. Испареніемъ воды объясняется, между прочимъ, высыханіе влажной почвы послѣ дождя, мокраго бѣлья и другихъ предметовъ. Испаряются не только жидкія, но и твердыя тѣла; сюда въ особенности относятся: ледъ, мышьякъ, камфора и всѣ тѣла пахучія, которыя только своими парами и могутъ дѣйствовать на органъ обонянія.

Для каждаго тѣла есть предѣлъ, за которымъ всякое испареніе прекращается, или, по крайней мѣрѣ, дѣлается нечувствительнымъ. Такъ, ртуть не даетъ паровъ ниже—8°, а сѣрная кислота ниже 30°.

О скрытомъ теплородѣ.

180. Скрытый теплородъ при плавленіи. Если смѣшать одинъ фунтъ воды при 79° съ однимъ фунтомъ толченаго льду при 0°, то весь ледъ растаетъ; такимъ образомъ получится 2 фунта воды, которыхъ общая температура будетъ 0°. Въ этомъ опытѣ фунтъ воды охладился отъ 79° до 0° и, значитъ, потерялъ 79 единицъ теплоты; вмѣстѣ съ тѣмъ, фунтъ льда при 0° превратился въ воду той же температуры. Слѣдовательно, для расплавленія фунта льда при 0°, безъ измѣненія температуры, надо истратить 79 единицъ теплорода.

Подобное явленіе наблюдаемъ при плавленіи другихъ тѣлъ: для расплавленія всякаго тѣла недостаточно только нагрѣть его до температуры плавленія,—нужно еще сообщить ему нѣкоторое количество теплорода, не производящаго, однакоже, повышенія температуры.

Количество тепла, потребное для расплавленія фунта твердаго вещества, безъ измѣненія температуры, называется *скрытымъ теплородомъ плавленія*, въ отличіе отъ явнаго теплорода, обнаруживаемаго термометромъ. Скрытая теплота плавленія у разныхъ веществъ различна; для воды наприм. 79, для цинка—28,13, для ртути—1,83 и проч.

При раствореніи твердаго тѣла въ жидкости (наприм. поваренной соли въ водѣ), также наблюдается пониженіе температуры, если смѣшиваемыя вещества не оказываютъ другъ на друга химическаго дѣйствія; въ противномъ случаѣ, температура можетъ не только понизиться, но еще возвысится (какъ наприм. при раствореніи кали, или натра въ водѣ).

Когда вода, или другая жидкость отвердѣваетъ, то освобождается теплота, и въ томъ же количествѣ, какъ при плавленіи поглощается; этотъ теплородъ также называется скрытымъ. Для доказательства, что при отвердѣваніи выдѣляется теплородъ, наполняютъ водою стеклянный сосудъ, который потомъ быстро охлаждаютъ; если вода была въ спокойномъ состояніи, то температура можетъ быть понижена до —12°, и вода все еще будетъ въ жидкомъ видѣ [175]; но если сосудъ привести въ сотрясеніе, или коснуться воды кускомъ льда, то часть ея мгновенно замерзаетъ; при этомъ отдѣляется теплота и повышаетъ температуру жидкости до 0°.

181. Скрытый теплородъ таянія льда можно опредѣлить помощію калориметра Фавра и Зильбермана. Вращеніемъ рукоятки p (фиг. 252) приводятъ ртуть къ концу шкалы. Потомъ бросаютъ куски тающаго льда въ трубку M. Ртуть, чрезъ охлажденіе резервуара, сжимается и отодвигается къ 0 дѣленій; нумеръ, противъ котораго она останавливается, записываютъ. Потомъ, опредѣляютъ температуру и вѣсъ воды, полученной изъ льда. Отсюда можно вычислить скрытый теплородъ плавленія льда.

Пусть ртуть отступила на m дѣленій, а вѣсъ и температура воды равны a и t; если притомъ обозначимъ чрезъ q количество теплорода, соотвѣтствующаго одному дѣленію трубки rr, а чрезъ x скрытый теплородъ одного фунта льда, то найдемъ, что ртуть калориметра потеряла mq единицъ тепла, частію перешедшихъ въ скрытое состояніе, частію употребленныхъ на возвышеніе температуры воды послѣ плавленія льда. Количество скрытаго теплорода для a фунтовъ льда выразится числомъ ax; кромѣ того, на возвышеніе температуры воды на $t°$ потребно at единицъ теплорода. Такимъ образомъ, получается уравненіе

$$ax+at=mq, \text{ откуда } x=\frac{mq}{a}-t.$$

Вещества.	Скрытый теплородъ плавленія.	Вещества.	Скрытый теплородъ плавленія.
Вода	79,25	Висмутъ	12,64
Азотнокислый натръ .	62,97	Сѣра	9,37
Хлористый кальцій .	40,70	Свинецъ	5,37
Цинкъ	28,13	Ртуть	1,83

Провостэ и Дезенъ, одновременно съ Реньо, нашли для скрытаго теплорода

плавленія льда 79; Персонъ принимаетъ 80. Несогласіе объясняется тѣмъ, что первые измѣряли количество теплорода, потребное для приведенія въ жидкое состояніе льда при 0°, а Персонъ принималъ во вниманіе еще размягченіе льда ниже нуля, сопровождаемое поглощеніемъ теплорода; онъ именно доказалъ, что, для повышенія температуры фунта льда отъ—2° до 0°, потребно 2 единицы теплорода, а не одна, какъ бы слѣдовало ожидать, потому что удѣльный теплородъ льда равенъ $^1/_2$ [171]. Персонъ произвелъ изслѣдованія и надъ другими тѣлами и нашелъ, что они, подобно льду, размягчаясь незадолго до плавленія, поглощаютъ теплоту.

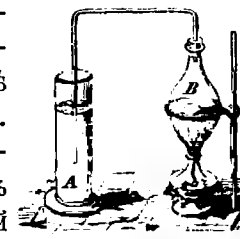
182. Причина постоянной температуры плавленія и замерзанія. При плавленіи каждая частица твердаго тѣла, переходя изъ твердаго состоянія въ жидкое, отнимаетъ отъ смежныхъ частицъ теплородъ, переводимый въ скрытое состояніе. На мѣсто поглощенной теплоты, прибываетъ теплота отъ окружающихъ предметовъ въ видѣ лучей, или чрезъ соприкосновеніе, какъ наприм. при нагрѣваніи на очагѣ. Во все время, пока совершается плавленіе, притекающая теплота употребляется только на плавленіе тѣла, а не на возвышеніе температуры.— При переходѣ жидкости въ твердое состояніе, освобождающійся теплородъ сообщается жидкости въ замѣнъ теплоты, отнятой охлажденіемъ. Такимъ образомъ, скрытою теплотою можно объяснить съ одной стороны медленное таяніе и отвердѣваніе, а съ другой—что во все время этихъ явленій температура тѣла остается постоянною. Еслибы не было скрытой теплоты, то жидкость, будучи охлаждена до точки отвердѣванія, мгновенно превратилась бы въ твердое тѣло; равнымъ образомъ твердое тѣло, доведенное чрезъ нагрѣваніе до температуры плавленія, могло бы мгновенно расплавиться. Медленное таяніе льда и медленное замерзаніе воды въ рѣкахъ и озерахъ зависятъ преимущественно отъ скрытой теплоты.

183. Охлаждающія смѣси. Нѣкоторыя вещества, будучи примѣшаны къ тающему снѣгу, или льду, ускоряютъ таяніе и вмѣстѣ съ тѣмъ понижаютъ точку плавленія. Такъ, поваренная соль можетъ понизить температуру таянія до — 10°. Охлажденіе будетъ еще сильнѣе, если смѣшать ледъ съ кристаллами хлористаго кальція, причемъ охлажденіе можно довести до—36°. То же происходитъ, если смѣшать снѣгъ съ нѣкоторыми жидкостями, которыя оказываютъ химическое дѣйствіе на воду; такъ, слабая азотная кислота понижаетъ точку таянія до—34°, а сѣрная кислота до—50°. Подобное явленіе наблюдается, когда твердое тѣло растворяется въ жидкости; такъ, раствореніе фосфорнонатріевой соли въ азотной кислотѣ можетъ произвести охлажденіе на 39°. Смѣсь изъ какихъ нибудь веществъ, понижающая температуру, называется *охлаждающею смѣсью*. Не должно упускать изъ виду и того обстоятельства, что при всякомъ химическомъ соединеніи освобождается

теплота, а потому пониженіе температуры возможно только въ томъ случаѣ, когда дѣйствіе охлаждающей смѣси болѣе нагрѣванія, производимаго взаимнымъ химическимъ дѣйствіемъ смѣшиваемыхъ тѣлъ.

Самая низкая температура, которую можно получить посредствомъ охлаждающей смѣси, равна температурѣ отвердѣванія насыщеннаго раствора [174].

184. Скрытый теплородъ при кипѣніи и испареніи. Чтобы обратить въ пары какую нибудь жидкость, не достаточно нагрѣть ее до кипѣнія, но нужно истратить еще нѣкоторое количество тепла; эта потраченная теплота называется *скрытою теплотою кипѣнія*. Такъ, для обращенія одного фунта воды при 100^0 въ паръ той же температуры, надо истратить 537 единицъ теплорода. Обратно, при переходѣ пара въ жидкость, оказывается избытокъ теплоты. Этотъ законъ можно доказать слѣдующимъ опытомъ. Пусть B (фиг. 258) изображаетъ склянку, которая посредствомъ стеклянной трубки сообщена съ сосудомъ A. Въ оба сосуда наливаютъ воды, и воду въ сосудѣ B приводятъ въ кипѣніе. Освобождающіеся пары вытѣсняютъ сначала воздухъ изъ склянки B, а потомъ и сами начинаютъ переходить по трубкѣ въ сосудъ A. Охлажденные здѣсь водою, они снова переходятъ въ жидкое состояніе, освобождая теплоту. Такимъ образомъ, количество воды въ сосудѣ A увеличивается, и температура ея возвышается. Пусть до опыта въ сосудѣ A было 9 фунтовъ воды при 0^0, и къ ней присоединилось еще 1 фунтъ воды при температурѣ 100^0. Фунтъ перегнанной воды, охладясь отъ 100^0 до 0, освободитъ 100 единицъ теплоты; кромѣ того, выдѣляется еще 537 единицъ скрытаго теплорода. Распредѣливъ эти $100+537$ единицъ поровну между 10-ю фунтами воды, найдемъ, что на каждый фунтъ приходится 63,7; поэтому, термометръ долженъ показывать $63^0,7$, что и въ самомъ дѣлѣ наблюдается. Напротивъ, если бы паръ приносилъ только 100 единицъ явной теплоты, и скрытый теплородъ при этомъ не выдѣлялся, то, разсуждая какъ прежде, нашли бы въ общей смѣси только 10^0. Итакъ, когда паръ обращается въ жидкость, то освобождается теплота.



Фиг. 258.

185. Скрытый теплородъ кипѣнія можно опредѣлить помощію калориметра Фавра и Зильбермана. Наливаютъ воду въ резервуаръ c прибора dcb (фиг. 253). Потомъ приводятъ ртуть калориметра къ нулю дѣленій. Воду нагрѣваютъ до кипѣнія на спиртовой лампѣ и, закрывъ одинъ конецъ b трубки, опускаютъ другой d во внутренность трубки M калориметра (фиг. 252). Пары переходятъ въ эту трубку и, отъ прикосновенія съ холодными стѣнками стекла, обращаются въ жидкое состояніе;

освобождающійся скрытый теплородъ сообщается ртути калориметра. Спустя нѣсколько времени, перегонку прекращаютъ и запираютъ трубку M пробкой, чтобы внѣшній воздухъ не отнималъ теплоты отъ перегнанной воды. Когда движеніе ртути въ трубкѣ rr прекратится, то замѣчаютъ дѣленіе, на которомъ ртуть остановилась, и опредѣляютъ температуру и вѣсъ воды. Изъ этихъ данныхъ можно будетъ найти скрытый теплородъ кипѣнія.

Пусть m, x, a и t означаютъ соотвѣтственно: число дѣленій, на которое перемѣстилась ртуть въ трубкѣ калориметра, скрытый теплородъ кипѣнія, вѣсъ и температуру воды послѣ опыта; назовемъ еще чрезъ q значеніе одного дѣленія калориметра. Тогда количество теплорода, освобожденнаго водяными парами, будетъ $ax+a(100-t)$, а пріобрѣтенное ртутью калориметра—mq; но какъ оба количества должны быть равны, то

$$ax+a(100-t)=mq, \text{ откуда } x=\frac{mq}{a}-100+t.$$

Количество скрытаго теплорода различно для разныхъ жидкостей, что видно изъ нижеслѣдующаго:

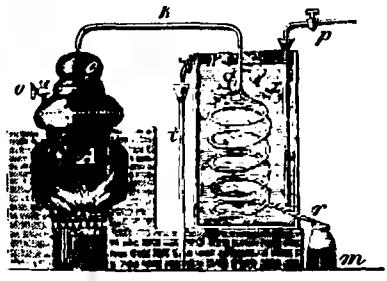
Вода	537	Уксусная кислота	102
Древесный спиртъ	264	Сѣрный эфиръ	91
Алкоголь	208	Терпентинъ	69

Скрытый теплородъ зависитъ еще отъ давленія на поверхность жидкости: чѣмъ это давленіе болѣе, тѣмъ менѣе требуется теплорода для обращенія жидкости въ парообразное состояніе. Этотъ законъ приводитъ къ слѣдующему заключенію. Увеличивая давленіе, можно довести жидкость до такой температуры, при которой скрытая теплота равна нулю. Эту температуру согласились называть *абсолютной точкой кипѣнія*; она различна для разныхъ жидкостей и вообще тѣмъ выше, чѣмъ сцѣпленіе частицъ жидкости болѣе. Такъ, для сѣрнаго эфира она равна 190°, для хлористаго кремнія 240° и проч.

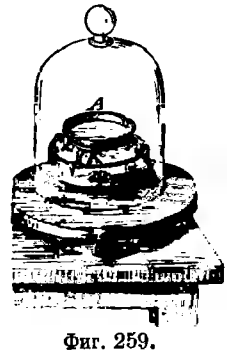
186. Въ скрытомъ теплородѣ заключается причина постоянной температуры кипѣнія и что жидкости кипятъ медленно, а не обращаются въ пары моментально. Когда жидкость доведена до температуры кипѣнія, то теплота, притекающая отъ окружающихъ предметовъ, или очага, употребляется только на обращеніе жидкости въ пары и потому температура во все время кипѣнія остается постоянною. Если бы не существовало скрытаго теплорода, то всякая жидкость, доведенная до температуры кипѣнія, мгновенно превращалась бы въ пары. Но какъ, для полученія изъ жидкости пара, надо истратить нѣкоторое количество теплорода, то жидкость превращается въ пары медленно, по мѣрѣ прибыванія теплоты.

Явленіе скрытаго теплорода обнаруживается не только при кипѣніи, но и при всякомъ испареніи; чѣмъ сильнѣе жидкость испаряется, тѣмъ скорѣе поглощается теплородъ. По этой причинѣ, при испареніи понижается температура, въ чемъ легко убѣдиться изъ многихъ явленій. Если обернуть шарикъ термометра кисеею, намоченною въ водѣ, то вскорѣ замѣтимъ пониженіе ртути; это пониженіе будетъ сильнѣе, если вмѣсто воды взять болѣе летучія жидкости: спиртъ, сѣрный эфиръ и проч. Если намочить руку водою и двигать ею въ воздухѣ, то почувствуемъ холодъ. Ускореннымъ испареніемъ воды можно даже заморозить воду. Подъ колоколъ воздушнаго насоса (фиг. 259) помѣщаютъ плоскій сосудъ *m*, въ который наливаютъ крѣпкой сѣрной кислоты; на стеклянный треножникъ *K* кладутъ часовое стекло *A*, въ которое наливаютъ воды; потомъ, вытягиваютъ воздухъ. При уменьшеніи давленія вода быстро обращается въ пары, которые поглощаются сѣрною кислотою; образуются новые пары и снова поглощаются. Отъ повторяющагося испаренія, вода сильно охлаждается и замерзаетъ, хотя температура комнаты будетъ гораздо выше нуля.

187. Перегонка жидкостей. Когда нагрѣваютъ водный растворъ соли, или вообще смѣси какихъ бы то ни было тѣлъ, то прежде начинаетъ кипѣть то вещество,



Фиг. 260.



Фиг. 259.

котораго температура кипѣнія ниже. На этомъ основано очищеніе веществъ отъ постороннихъ примѣсей посредствомъ *дистиллированія* или *перегонки*. Для очищенія воды и спирта употребляется въ практикѣ снарядъ, называемый *перегоннымъ кубомъ*. Онъ состоитъ изъ котла *A* (фиг. 260), въ который наливается жидкость, крышки или шлема *c* и холодильника *Sr*, наполненнаго холодной водой. При нагрѣваніи, изъ котла подымаются пары и проходятъ по трубкѣ *k* въ холодильникъ; здѣсь они идутъ по длинной, спирально изогнутой трубкѣ *Sr*, охлаждаются и обращаются въ жидкость, которая стекаетъ потомъ въ сосудъ *m*. Отъ выдѣляющейся безпрестанно скрытой теплоты при сгущеніи пара, вода въ холодильникѣ скоро нагрѣвается и потому должна быть часто возобновляема. Съ этою цѣлью имѣютъ большой резервуаръ, изъ котораго течетъ вода, по трубкѣ *p*, въ воронку, откуда направляется, по

трубкѣ x, въ нижнюю часть холодильника. Между тѣмъ теплая вода выпускается черезъ трубку t наружу. Чрезъ отверстіе O можно приливать жидкость, не отвинчивая шлема отъ котла.

188. Сфероидальное состояніе жидкости. Если въ металлическую чашку, раскаленную докрасна, или до болѣе высокой температуры, налить нѣсколько капель воды, то замѣчается весьма странное, повидимому, явленіе: жидкость не кипитъ, но принимаетъ видъ шарика, который быстро перемѣщается по поверхности чашки и весьма медленно испаряется. Если будемъ прибавлять постепенно воды, то жидкость, когда ея будетъ много, явится уже не въ видѣ шарика, но приметъ такой же видъ A (фиг. 261), какъ ртуть, налитая въ стеклянную чашку, или другая несмачивающая стекло жидкость. Если прекратить нагрѣваніе, то стѣнки сосуда, охладясь ниже 140°, начинаютъ смачиваться водой; тогда вода станетъ кипѣть и быстро обратится въ пары. Описанное явленіе называется *сфероидальнымъ состояніемъ жидкости* и было открыто *Бутиньи*; оно возможно для воды при температурѣ выше 140°. То же самое замѣчается во всѣхъ другихъ жидкостяхъ, съ тою только разницею, что температура, при которой для нихъ возможно сфероидальное состояніе, бываетъ тѣмъ меньше, чѣмъ ниже ихъ точка кипѣнія. Такъ, для спирта температура должна быть выше 134°, для сѣрнаго эфира выше 61° и проч.

Фиг. 261.

Температура жидкости въ сфероидальномъ состояніи всегда бываетъ ниже точки кипѣнія.

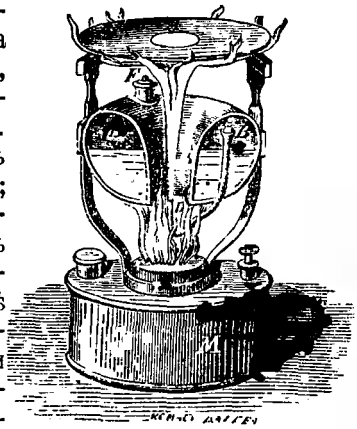
Жидкость въ сфероидальномъ состояніи не касается раскаленной поверхности; это видно изъ того, что въ чашкѣ можно надѣлать дыръ и даже вмѣсто нея взять металлическую сѣтку, и жидкость все-таки не проходитъ чрезъ отверстія.

Сфероидальное состояніе жидкостей объясняется слѣдующимъ образомъ:

Способность жидкостей—смачивать твердыя тѣла, съ повышеніемъ температуры, уменьшается; всякое твердое тѣло можно нагрѣть до такой степени, что оно вовсе не будетъ смачиваться. Въ самомъ дѣлѣ, вода въ волосныхъ стеклянныхъ трубкахъ, при возвышеніи температуры, опускается, можетъ стать на уровнѣ жидкости въ широкомъ сосудѣ и даже упасть ниже. Поэтому, жидкость, налитая на раскаленную пластинку, не только не смачиваетъ, но даже не касается ея, отдѣляясь тонкимъ слоемъ въ изобиліи освобождающагося пара. Такъ какъ пары не теплопроводны, то теплота можетъ передаваться отъ раскаленной пластинки къ жидкости только чрезъ лучеиспусканіе; при этомъ часть ея отражается отъ поверхности жидкости назадъ, другая проходитъ насквозь, и третья задерживается. Третья часть теплоты, то есть задерживаемая жидкостью, относительно не велика; она употребляется на превращеніе жидкости въ пары и именно съ той стороны, которая обращена къ раскаленной пластинкѣ. Вторая часть тепла—самая большая; поэтому, только однѣ прозрачныя жидкости сохраняютъ продолжительное время сфероидальное состояніе. Итакъ, сфероидальное состояніе объясняется тѣмъ, что 1) жидкости не касаются нагрѣтой поверхности, отдѣляясь отъ нее подстилкой изъ паровъ, и что 2) незначительное количество задерживаемой ими лучистой теплоты издерживается

на образованіе пара. Справедливость этого объясненія подтверждается, между прочимъ, тѣмъ, что непрозрачныя жидкости (наприм. чернила), поглощающія всю лучистую теплоту, не могутъ долго оставаться въ сфероидальномъ состояніи и быстро обращаются въ пары.

Для успѣшности опытовъ, употребляютъ особенный приборъ, называемый *эолипилемъ* *) и полезный во многихъ другихъ случаяхъ, когда требуется получить высокую температуру. Онъ состоитъ изъ кольцеобразнаго сосуда BB (фиг. 262), закрытаго со всѣхъ сторонъ и поддерживаемаго ножками, которыя опираются на спиртовую лампу M. Чрезъ отверстіе F наливаютъ въ него спирту и запираютъ плотно пробкой. Изъ пространства надъ спиртомъ, въ верхней части сосуда BB, опускается кривая трубка BD, которой нижній конецъ D загнутъ въ полость кольца. Если зажечь свѣтильню лампы M, то спиртъ сосуда BB скоро достигнетъ точки кипѣнія; пары его, выходящіе чрезъ трубку BD, загораются отъ пламени лампы и нагрѣваютъ чашечку A, на которую наливаютъ испытуемую жидкость. Для безопасности, въ пробкѣ F дѣлаютъ отверстіе, закрытое другой пробкой, которая придавливается пружиной. Если упругость паровъ спирта будетъ слишкомъ велика, то вторая пробка преодолѣетъ сопротивленіе пружины, приподымется, выпуститъ лишній паръ наружу и опять опустится.



Фиг. 262.

Сфероидальнымъ состояніемъ жидкости объясняются многія интересныя явленія. Жидкій сѣрнистый ангидридъ кипитъ при —10°. Если налить этой жидкости въ раскаленный платиновый тигель, то она принимаетъ сфероидальное состояніе, причемъ ея температура будетъ ниже точки ея кипѣнія, то есть ниже —10°. Поэтому, вода, заключенная въ небольшой сосудъ, будучи опущена въ тигель, почти мгновенно замерзаетъ. Подобнымъ образомъ ртуть, помѣщенная внутри жидкаго угольнаго ангидрида, налитаго въ накаленный тигель, быстро переходитъ въ твердое состояніе.

Если смочить руку сѣрнымъ эфиромъ и погрузить ее ненадолго въ расплавленный свинецъ, то мы не только не обожжемъ руки, но даже будемъ ощущать холодъ; сфероидальное состояніе, которое принимаетъ тогда эфиръ, удовлетворительно объясняетъ это явленіе. Можно безъ опасенія опустить руку, даже не смачивая ея, въ расплавленную мѣдь, или чугунъ, и ходить голыми ногами по раскаленной добѣла чугунной плитѣ. Бутиньи объясняетъ эти факты влажностью, которую всегда имѣетъ кожа, особенно когда мы приступаемъ къ столь опасному опыту.

---

*) Можно замѣнить газовой горѣлкой Бунзена (фиг. 682).

О расширеніи тѣлъ при нагрѣваніи.

189. Коэффиціентъ расширенія. При расширеніи тѣлъ можно разсматривать или увеличеніе длины тѣла, или увеличеніе его объема; первое называется *линейнымъ* расширеніемъ, а второе—*кубическимъ*.

Коэффиціентомъ линейнаго расширенія называется увеличеніе длины тѣла, выраженное въ доляхъ той длины, которую тѣло имѣетъ при 0^0, если температура возвышается на одинъ градусъ: отъ 0^0 до 1^0, отъ 1^0 до 2^0, отъ 2^0 до 3^0 и т. д.; если напр. говорятъ, что коэффиціентъ линейнаго расширенія свинца есть 0,000029, то это значитъ, что свинцовый прутъ, котораго длина при 0^0 равна сажени, удлиняется при нагрѣваніи на каждый градусъ на 0,000029 сажени, а прутъ въ двѣ сажени—на 0,000029 двухъ саженей, и проч.

Коэффиціентомъ кубическаго расширенія называется увеличеніе объема тѣла, выраженное въ доляхъ того объема, который тѣло имѣетъ при 0^0, съ возвышеніемъ температуры на каждый градусъ; такимъ образомъ, когда говорятъ, что коэффиціентъ кубическаго расширенія какой либо жидкости есть 0,0008, то это значитъ, что одинъ кубическій футъ ея при нагрѣваніи на одинъ градусъ увеличивается на 0,0008 кубическаго фута, а два куб. фута—на 0,0008 двухъ куб. фут.

Въ твердыхъ тѣлахъ обыкновенно разсматривается линейное расширеніе, въ жидкихъ и газахъ—кубическое.

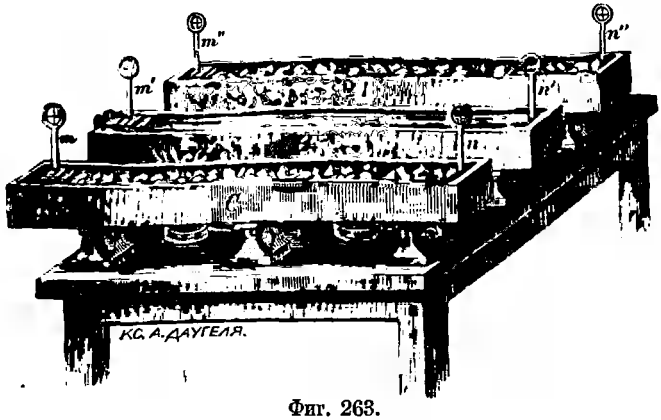
190. Расширеніе твердыхъ тѣлъ. Чтобы опредѣлить коэффиціентъ линейнаго расширенія твердыхъ тѣлъ, приготовляютъ стержень изъ испытуемаго вещества, измѣряютъ длину его при 0^0, подвергаютъ нагрѣванію и замѣчаютъ удлиненіе. Пусть напр. длина желѣзнаго прута при 0^0 равна была 4 фут.; при возвышеніи температуры на 100^0 длина увеличилась на 0,6 линій. По опредѣленію коэффиціента расширенія, надо 0,6 линіи обратить въ футы и полученное число футовъ раздѣлить на 4 и на 100. Отъ этого составится число

$$\frac{0,6}{120.\ 4.\ 100} \text{ или } 0,0000125,$$

выражающее коэффиціентъ линейнаго расширенія желѣза.—Шкала, которую необходимо имѣть для измѣренія длины испытуемаго стержня, также расширяется при нагрѣваніи, между тѣмъ какъ длина ея должна быть, очевидно, постоянною. Въ этомъ заключается трудность опредѣленія коэффиціентовъ расширенія. Это затрудненіе устраняютъ, помѣщая шкалу въ тающій снѣгъ.

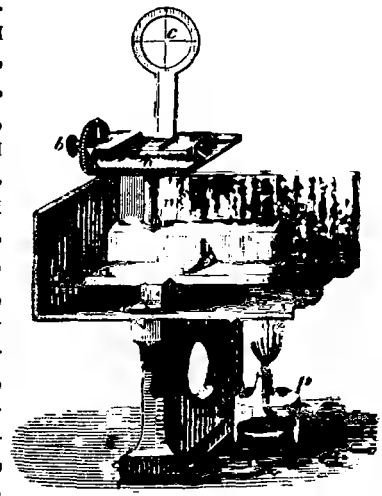
Коэффиціентъ линейнаго расширенія твердыхъ тѣлъ лучше всего опредѣлять помощью прибора Руа и Рамздена. Этотъ снарядъ состоитъ (фиг. 263)

изъ трехъ параллельныхъ металлическихъ ящиковъ: A, B и C; крайніе содержатъ по чугунному неподвижному стержню, а средній B—стержень изъ



Фиг. 263.

испытуемаго вещества. Ящики A и C наполняютъ тающимъ льдомъ, чтобы температура находящихся въ нихъ стержней, а, слѣдовательно, и длина, во все время опыта оставались неизмѣнными. Къ концамъ всѣхъ стержней придѣланы прутья m, m', m'', n, n' и n''; на каждомъ изъ нихъ находится кольцо, въ которомъ натянуты перекрестныя нити. Прутъ m', изображенный для ясности на отдѣльной фигурѣ 264, оканчивается шкалой h, на которой лежитъ ноніусъ K, приводимый въ движеніе микрометрическимъ винтомъ b; къ ноніусу прикрѣпляютъ кольцо c съ перекрестными нитями. Въ началѣ опыта, средній стержень B, подобно двумъ крайнимъ, окружаютъ льдомъ и, когда температура сдѣлается постоянною, приборъ располагаютъ такъ, чтобы пересѣченія нитей m, m' и m'', а также n, n' и n'', находились на двухъ прямыхъ линіяхъ. Это достигается посредствомъ микрометрическихъ винтовъ: b и другого винта, упирающагося въ испытуемый стержень съ противоположнаго конца ящика B и непоказаннаго на фигурѣ. Потомъ замѣняютъ ледъ средняго ящика водою, или масломъ, которыя нагрѣваютъ лампами P. Теплота, сообщаемая испытуемому стержню, заставляетъ его расширяться, и пересѣченія нитей n' и m' сходятъ съ прямыхъ: $nn'n''$ и $mm'm''$. Температура указывается термометрами, опущенными въ ящикъ B. Когда она сдѣлается постоянною, то однимъ изъ микрометрическихъ винтовъ приводятъ точку n' на одну прямую линію съ n и n''; потомъ, вращая другой винтъ b, устанавливаютъ пересѣченіе нитей c (фиг. 264) или m' (фиг. 263) на одну прямую линію съ m и m''. По числу оборотовъ винта b (фиг. 264), или по шкалѣ h можно опредѣлить, на сколько удлинилась часть



Фиг. 264.

стержня b, заключенная между точками прикрѣпленія прутьевъ m' и n', откуда уже не трудно вычислить коэффиціентъ расширенія.

Вотъ нѣкоторые результаты, найденные разными наблюдателями:

Названія веществъ.	Коэффиціенты лин. расшир.	Названія веществъ.	Коэффиціенты лин. расшир:
Стекло.	0,000008333	Латунь	0,000018782
Платина	0,000008565	Серебро	0,000019097
Сталь	0,000011445	Олово	0,000022833
Желѣзо	0,000012583	Свинецъ. . . .	0,000028666
Золото.	0,000014660	Цинкъ	0,000029416
Мѣдь	0,000017000	Ледъ	0,000051800

Изъ этой таблицы видимъ, что твердыя тѣла имѣютъ разные коэффиціенты расширенія; тѣла неметаллическія, кромѣ льда, вообще менѣе расширяются, нежели металлы.

Коэффиціенты расширенія, опредѣляемые по воздушному термометру, съ возвышеніемъ температуры увеличиваются, впрочемъ для металловъ такъ незначительно, что безъ ощутительной погрѣшности можно принять ихъ постоянными.

Зная коэффиціентъ расширенія, можно вычислить удлиненіе тѣла при возвышеніи температуры; но такъ какъ одно и то же вещество, отъ разной обработки и отъ примѣси другихъ веществъ, можетъ имѣть разную расширяемость, то при точныхъ изысканіяхъ надежнѣе опредѣлять непосредственно расширеніе употребляемыхъ при опытахъ стержней, нежели вычислять его по таблицѣ коэффиціентовъ.

Пусть l_o означаетъ длину нѣкотораго стержня при 0°, а l—при температурѣ t, и пусть k представляетъ коэффиціентъ линейнаго расширенія. Тогда удлиненіе даннаго стержня, при нагрѣваніи на 1°, выразится чрезъ $l_o k$, а при нагрѣваніи на t°—чрезъ $l_o kt$. Поэтому, l длина стержня при температурѣ t° будетъ

$$l_o + l_o kl, \text{ откуда } l = l_o(1+kt).$$

По этой формулѣ можно вычислять длину стержней, которыхъ коэффиціентъ расширенія съ возвышеніемъ температуры не измѣняется.

191. Кубическое расширеніе твердыхъ тѣлъ. Если извѣстенъ коэффиціентъ линейнаго расширенія твердаго тѣла, то легко опредѣлить коэффиціентъ и кубическаго расширенія. Пусть какое либо вещество, котораго линейный коэффиціентъ равенъ k, имѣетъ въ объемѣ 1 кубическій футъ; при нагрѣваніи на 1^0, каждая сторона куба сдѣлается $1+k$ фута; а потому объемъ его будетъ $(1+k)^3 = 1+3k+3k^2+k^3$; пренебрегая послѣдними двумя членами, какъ чрезвычайно малыми, получимъ для объема $1+3k$. Число $3k$ выражаетъ увеличеніе единицы объема при нагрѣваніи на 1^0 и, слѣдовательно, есть коэффиціентъ куби-

ческаго расширенія вещества; итакъ, *коэффиціентъ кубическаго расширенія равенъ тройному коэффиціенту линейнаго расширенія.*

Назовемъ чрезъ v_0 объемъ нѣкотораго тѣла при 0°, чрезъ v—объемъ того же тѣла при t° и чрезъ u—коэффиціентъ кубическаго расширенія. Тогда увеличеніе объема даннаго тѣла, при нагрѣваніи его на 1°, будетъ $v_0 u$, а при нагрѣваніи на t°—$v_0 ut$. Слѣдовательно, объемъ тѣла при температурѣ t выразится чрезъ

$$v_0 + v_0 ut, \text{ откуда } v = v_0(1+ut).$$

По этой формулѣ можно вычислять объемъ тѣла, если коэффиціентъ его расширенія не измѣняется при измѣненіи температуры.

Емкость сосудовъ и вообще всякихъ оболочекъ при нагрѣваніи увеличивается. Для доказательства погружаютъ шарикъ весьма чувствительнаго термометра въ горячую воду; тотчасъ замѣчается пониженіе ртути, происшедшее отъ того, что теплота, вслѣдствіе худой теплопроводности стекла, не успѣла достигнуть ртути и расширила только оболочку; скоро, однакоже, теплородъ проникаетъ въ ртуть, и она начинаетъ быстро подыматься. Не трудно понять, что объемъ оболочки увеличивается такъ, какъ будто бы внутренняя полость была наполнена веществомъ самой оболочки; слѣдовательно, зная ея вмѣстимость для первоначальной температуры, можно вычислить вмѣстимость и для всякой другой температуры, принимая за коэффиціентъ кубическаго расширенія тройной коэффиціентъ линейнаго расширенія вещества оболочки. Пусть, наприм. вмѣстимость склянки при 0° равнялась 120 кубич. сантиметр.; при температурѣ 100° вмѣстимость ея будетъ 120 (1+3.0,000008333.100) или 120,3 куб. сант.

Для той оболочки, въ которой предполагается производить наблюденія, лучше опредѣлять непосредственно коэффиціентъ кубическаго расширенія, потому что коэффиціентъ линейнаго расширенія бываетъ различенъ даже для одного и того же вещества (что зависитъ отъ обработки, постороннихъ примѣсей и проч.); особенно стекло—а оболочки бываютъ обыкновенно стеклянныя—подвержено большимъ неправильностямъ въ расширеніи.

Увеличеніе емкости оболочки можно изслѣдовать, когда извѣстна расширяемость ртути, или какой либо другой жидкости. Пусть BC (фиг. 265) изображаетъ стеклянную оболочку съ тонкою трубкою. Въ приборъ вводятъ столько ртути, чтобы при температурѣ 0° она стояла вблизи C вершины трубки. Сдѣлавъ здѣсь замѣтку, производятъ взвѣшиваніе. Обозначимъ чрезъ p вѣсъ прибора вмѣстѣ со ртутью. Потомъ оболочку B нагрѣваютъ до тѣхъ поръ, пока часть ртути не выйдетъ изъ трубки. Если снова охладить оболочку до 0°, то ртуть опустится ниже прежняго, наприм. до A, и пусть вѣсъ всего прибора сдѣлается r. Тогда $p-r$ выразитъ вѣсъ столбика ртути AC. Назвавъ чрезъ q вѣсъ пустого прибора безъ ртути, найдемъ, что вѣсъ ртути, наполняющей оболочку до черты A, равняется $r-q$; поэтому число $\frac{p-r}{r-q}$ представитъ отношеніе объема трубки отъ A до C къ объему резервуара отъ B до A. Раздѣлимъ пространство CA на 100 равныхъ частей; тогда емкость каждаго дѣленія трубки будетъ извѣстна и выразится въ частяхъ объема резервуара дробью $\frac{1}{100}\frac{p-r}{r-q}$, которую для краткости назовемъ чрезъ m. Если

наприм. $q=5$ грам., $r=45$ гр. и $p=46$ гр., то одно дѣленіе составитъ одну четырехтысячную долю объема оболочки до A, и, слѣдовательно, m будетъ равно $\frac{1}{4000}$ или 0,00025. Пріемъ, посредствомъ котораго опредѣляютъ отношеніе емкости дѣленій трубки къ емкости резервуара, называется *калибрированіемъ*. Нагрѣемъ теперь приборъ отъ 0° до $t°$, и пусть ртуть подымется отъ A на n дѣленій до D; тогда mn покажетъ *видимое* увеличеніе объема ртути, выраженное въ доляхъ самого объема и происшедшее отъ дѣйствительнаго расширенія ртути и увеличенія емкости оболочки; первое удлиняетъ столбикъ AD, второе—укорачиваетъ. Назвавъ чрезъ k коэффиціентъ кубическаго расширенія ртути, найдемъ, что въ дѣйствительности эта жидкость должна расшириться на количество kt, гдѣ за единицу принятъ объемъ резервуара до A при 0°. Если x означаетъ неизвѣстный коэффиціентъ кубическаго расширенія оболочки, то увеличеніе ея емкости будетъ xt. Слѣдовательно, видимое расширеніе ртути въ приборѣ должно быть $kt-xt$; но какъ съ другой стороны, наблюдаемое расширеніе равно mn, то $kt-xt=mn$, откуда

$$x=k-\frac{mn}{t}.$$

Въ этомъ равенствѣ неизвѣстно только x.

Пусть при нагрѣваніи до 40°, ртуть поднялась до 25-таго дѣленія, то есть $t=40$ и $n=25$. Извѣстно, что коэффиціентъ расширенія ртути есть $\frac{1}{5550}$. Полагая, кромѣ того, $m=0,00025$, найдемъ

$$x=\frac{1}{5550}-\frac{0,00025,25}{40}=0,00041,$$

то есть объемъ оболочки при нагрѣваніи на 1° увеличивается на 0,00041 своей величины или на 1,64 дѣленій трубки, потому что каждое дѣленіе равно 0,00025 всей оболочки.

192. Приложенія расширенія твердыхъ тѣлъ. Расширеніемъ тѣлъ объясняется множество явленій. Если въ стеклянный сосудъ съ толстыми стѣнками налито горячей воды, то внутренняя поверхность стѣнокъ расширяется, между тѣмъ какъ наружная, по причинѣ худой теплопроводности стекла, остается на нѣкоторое время въ томъ же положеніи, и сосудъ лопается. Если къ сильно нагрѣтой стеклянной пластинкѣ приложить мокрую нить, то пластинка раскалывается по направленію нити. Рельсы на желѣзныхъ дорогахъ кладутъ такъ, чтобы между ними остались промежутки, потому что, если они другъ друга касаются, то при расширеніи могли бы, отъ взаимнаго давленія, попортиться.

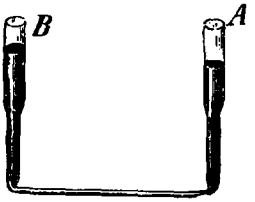
При обтягиваніи экипажныхъ колесъ, шину берутъ такой величины, чтобы она въ холодномъ состояніи была немного менѣе окружности колеса, а разогрѣтая всходила бы на колесо. При охлажденіи шина сожмется и стянетъ колесо.

193. Коэффиціентъ расширенія жидкостей. Если жидкость, заключенную въ термометрическій приборъ (фиг. 265), нагрѣвать, то

она расширяется, двигаясь по капиллярной трубкѣ AC. Удлиненіе столбика или кажущееся расширеніе жидкости зависитъ отъ двухъ причинъ: отъ собственнаго или абсолютнаго ея расширенія и увеличенія емкости оболочки B; первая увеличиваетъ высоту столбика AD, вторая уменьшаетъ. Слѣдовательно, чтобы получить истинное расширеніе жидкости, надо къ наблюденному расширенію придать увеличеніе емкости оболочки. Отсюда обратно: зная расширяемость какой-либо жидкости, можно найти коэффиціентъ кубическаго расширенія оболочки. Поэтому, достаточно опредѣлить коэффиціентъ абсолютнаго расширенія хотя одной жидкости, независимо отъ расширенія оболочекъ, чтобы съ помощью этой жидкости изучить расширеніе какой-нибудь оболочки; потомъ можно будетъ опредѣлить коэффиціентъ абсолютнаго расширенія всякой жидкости. Съ этою цѣлью Дюлонгъ и Пти и, позднѣе ихъ, Реньо избрали предметомъ своихъ изслѣдованій ртуть и основали свой способъ на извѣстномъ началѣ гидростатики, что высоты разнородныхъ жидкостей въ сообщающихся сосудахъ обратно пропорціональны ихъ плотностямъ [100].

Фиг. 265.

Пусть AB (фиг. 266)—два такіе сосуда, соединенные весьма тонкою трубкою и наполненные ртутью, и пусть температура ртути въ сосудѣ A будетъ 0^0, а температура ртути въ сосудѣ B на t^0 выше. Такъ какъ холодная ртуть плотнѣе теплой, то высота ея будетъ менѣе высоты второй въ обратномъ отношеніи плотностей. Обозначимъ чрезъ k коэффиціентъ абсолютнаго кубическаго расширенія ртути; увеличеніе объема для t^0 будетъ тогда kt. Если мы нагрѣемъ какое бы то ни было количество ртути на t^0, то объемъ ея увеличится въ $1+kt$ разъ, а плотность во столько же разъ уменьшится; слѣдовательно, плотность ртути, заключенной въ сосудѣ A, будетъ во столько разъ болѣе плотности ртути, заключенной въ сосудѣ B, во сколько $1+kt$ болѣе 1. Назвавъ высоты ртути въ сосудахъ B и A чрезъ h_1 и h и припомнивъ упомянутый законъ гидростатики, получимъ, независимо отъ формы сосудовъ, пропорцію



Фиг. 266.

$$h' : h = 1+kt : 1;$$

изъ нея находимъ

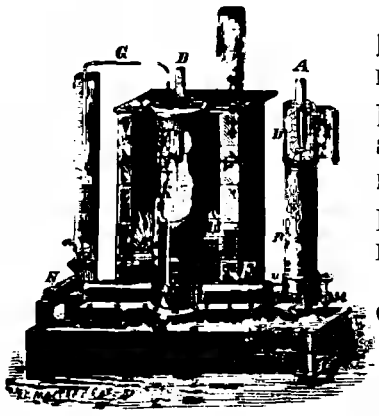
$$1+kt = \frac{h_1}{h}, \text{ откуда}$$

$$k = \frac{h_1 - h}{ht}.$$

Трудность при этомъ опытѣ заключается въ точномъ опредѣленіи темпе-

ратуры и высотъ ртути. Дюлонгъ и Пти дали своему прибору слѣдующее устройство (фиг. 267):

Оба сообщающіеся сосуда A и B заключены въ другіе, металлическіе сосуды, изъ которыхъ одинъ D содержитъ ледъ, а другой E—масло и помѣщенъ въ печь F. Когда ртуть въ B достаточно нагрѣлась, то печь запираютъ заслонкой и ждутъ, пока температура сдѣлается постоянною. Въ это мгновеніе катетометромъ [21] измѣряютъ разстояніе отъ средины трубки u до уровней ртути въ обоихъ сообщающихся сосудахъ. Температура опредѣляется воздушнымъ термометромъ KGn [198]. Уровень N и винтъ M служатъ для установки прибора.



Фиг. 267.

По наблюденіямъ Дюлонга и Пти, ртуть отъ 0^0 до 100^0 расширяется согласно съ воздухомъ; при температурахъ ниже 0^0 расширеніе медленнѣе, а выше 100^0—быстрѣе. Вотъ средніе коэффиціенты кубическаго расширенія ртути чрезъ каждые 100^0:

Показанія воздушнаго термометра.	Средній коэффиціентъ расширенія ртути.
Отъ 0^0 до 100^0	$\frac{1}{5550}$
„ 100^0 „ 200^0	$\frac{1}{5425}$
„ 200^0 „ 300^0	$\frac{1}{5300}$

Болѣе точныя изысканія, произведенныя Реньо, показали, что ртуть отъ 0^0 до 100^0 расширяется не вполнѣ согласно съ воздухомъ.

Абсолютное расширеніе прочихъ жидкостей опредѣляется чрезъ видимое, наблюдаемое въ стеклянныхъ оболочкахъ. Испытуемую жидкость заключаютъ въ термометрическій приборъ, котораго кубическое расширеніе уже изслѣдовано [191], и охлаждаютъ до 0°; пусть она остановилась тогда (фиг. 265) выше A на i дѣленій. Если принять объемъ резервуара до A за 1, то объемъ жидкости при 0° выразится чрезъ $1+mi$, гдѣ m есть отношеніе емкости одного дѣленія трубки къ вмѣстимости резервуара B до A. Нагрѣемъ оболочку B до температуры t; тогда жидкость подымется на n дѣленій, такъ что видимое увеличеніе ея объема будетъ mn. Раздѣливъ количество mn на t и $1+mi$, получимъ для коэффиціента видимаго расширенія жидкости число $\frac{mn}{(1+mi)t}$. Чтобы опредѣлить коэффиціентъ абсолютнаго расширенія, стоитъ только сюда придать x, коэффиціентъ кубическаго расширенія оболочки [191]; тогда найдемъ $\frac{mn}{(1+mi)t}+x$.

Наблюденія надъ расширеніемъ жидкостей въ оболочкахъ показали, что жидкости расширяются чрезвычайно различно и несогласно между собою и съ воздухомъ. Вообще, съ возвышеніемъ температуры, коэффиціенты расширенія быстро возрастаютъ. Ниже приведены коэффиціенты при 0^0:

Названіе веществъ.	Коэффиціенты.	Названіе веществъ.	Коэффиціенты.
Алкоголь . . .	0,001048630	Древесный спиртъ	0,001185520
Хлороформъ . .	0,001107146	Сѣрная кислота .	0,001496378
Сѣроуглеродъ .	0,001139804	Сѣрный эфиръ .	0,001513245

194. Наибольшая плотность воды. Вода принадлежитъ къ числу немногихъ тѣлъ, которыя представляютъ замѣчательное исключеніе изъ общаго закона расширенія [86]: при нагрѣваніи отъ 0^0 до 4^0 она сжимается, а потомъ расширяется. Такимъ образомъ, при 4^0 вода имѣетъ наибольшую плотность.

Это отступленіе воды отъ общаго закона легко замѣтить, наблюдая ея расширеніе въ термометрическомъ приборѣ.

Вода, какъ извѣстно [175], можетъ быть охлаждена гораздо ниже 0°, оставаясь жидкою; въ этомъ видѣ, при пониженіи температуры, она продолжаетъ расширяться, между тѣмъ какъ въ состояніи льда, при той же температурѣ, она сжимается. Водные растворы солей имѣютъ подобныя свойства. Съ увеличиваніемъ количества растворенного вещества, понижаются температуры отвердѣванія и наибольшей плотности: послѣдняя быстрѣе первой, такъ что жидкость можетъ имѣть наибольшую плотность ниже той температуры, при которой она переходитъ въ твердое состояніе; такимъ свойствомъ обладаетъ морская вода.

Зимою, при охлажденіи воды въ рѣкахъ и прѣсноводныхъ озерахъ, холодныя частицы съ поверхности опускаются, какъ тяжелѣйшія, и замѣняются новыми, притекающими снизу. Эти движенія продолжаются до тѣхъ поръ, пока вся вода не приметъ температуры наибольшей плотности; при дальнѣйшемъ пониженіи температуры на поверхности, охлажденныя частицы воды не опускаются на дно и не замѣщаются новыми, потому что нижніе слои становятся тяжелѣе верхнихъ; а такъ какъ вода есть весьма худой проводникъ тепла [161], то охлажденіе во внутренность почти не передается. Отъ этого, въ глубокихъ озерахъ, вода, ниже извѣстной глубины, сохраняетъ въ самыя суровыя зимы постоянно одну и ту же температуру 4^0. Не смотря на то, воды рѣкъ, озеръ и морей промерзали бы на огромную глубину и, можетъ быть, до дна, если бы не существовало могущественнаго препятствія, которое представляетъ скрытая теплота: для обращенія воды при 0^0 въ ледъ, надо съ каждаго ея фунта отнять 79 единицъ теплорода, а для этого недостаточны даже продолжительные и сильные холода полярныхъ странъ.—Съ наступленіемъ теплаго времени года, земные водоемы освобождаются отъ своей ледяной коры. Въ эту пору, вода на поверхности имѣетъ 0^0; по мѣрѣ нагрѣванія, прѣсная вода становится плотнѣе, опускается и замѣщается притекающими снизу холодными потоками, которые въ свою очередь нагрѣваются и также опускаются. Такъ продолжается до тѣхъ поръ,

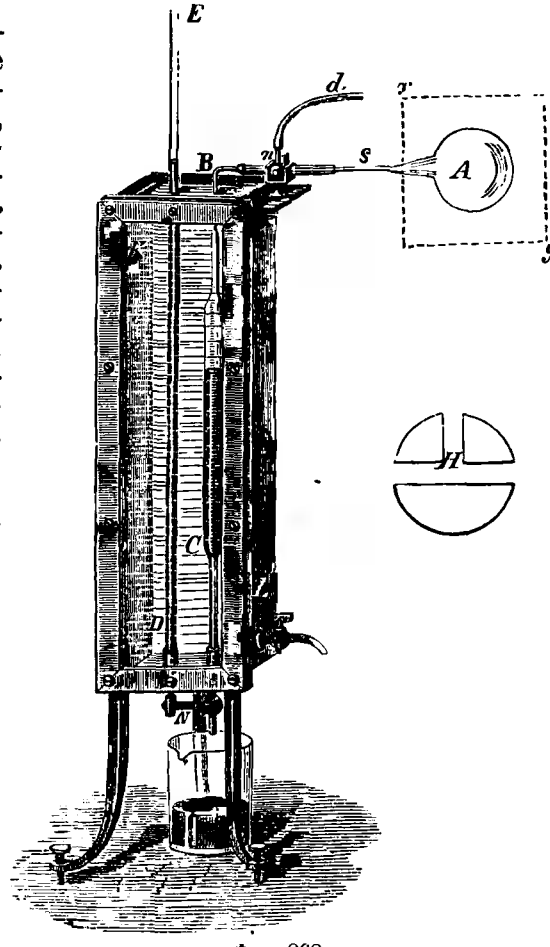
пока вода не нагрѣется до 4°. При дальнѣйшемъ нагрѣвательномъ дѣйствіи солнца, вода остается на поверхности; теплота передается внизъ только вслѣдствіе слабой теплопроводности воды и, значитъ, весьма медленно. Отъ этого, въ глубокихъ прѣсноводныхъ озерахъ, вода, ниже извѣстной глубины, имѣетъ въ теченіе лѣта и вообще всего года постоянную температуру 4°.

195. Расширеніе газовъ. Первые, заслуживающіе вниманія, опыты надъ расширеніемъ газовъ принадлежатъ Ге-Люссаку. Онъ заключалъ газъ въ стеклянную оболочку съ трубкой, раздѣленной на части равной емкости и содержащей каплю ртути. Оболочку опускали сначала въ тающій ледъ и, замѣтивъ положеніе капли ртути, погружали въ кипящую воду; воздухъ расширялся и заставлялъ ртутный указатель перемѣщаться. Измѣривъ предварительно емкость оболочки и дѣленій трубки, не трудно было вычислить коэффиціентъ кубическаго расширенія газа. Изъ такихъ наблюденій Ге-Люссакъ вывелъ, что *всѣ газы расширяются одинаково: коэффиціентъ ихъ расширенія постояненъ для всѣхъ температуръ отъ 0° до 100° и равенъ 0,00375.* Выводъ этотъ только приблизительно вѣренъ, потому что газы въ опытахъ Ге-Люссака были нѣсколько влажны, а пары воды сильно увеличиваютъ коэффиціентъ расширенія. Впослѣдствіи Рудбергъ, Магнусъ и Реньо произвели болѣе точныя изысканія; особенно замѣчательны изслѣдованія Реньо по ихъ полнотѣ и точности. Изъ нихъ выходитъ: коэффиціенты расширенія газовъ хотя и близки между собою, но не равны: наименьшій коэффиціентъ принадлежитъ газамъ, которые переходятъ въ жидкое состояніе при сильномъ сгущеніи и весьма низкой температурѣ, каковы водородъ, кислородъ и другіе; коэффиціентъ тѣмъ болѣе, чѣмъ газъ ближе къ переходу въ жидкое состояніе. При сгущеніи газа, расширяемость его увеличивается; только одинъ водородъ исключается изъ этого закона: при всѣхъ сгущеніяхъ, коэффиціентъ его расширенія остается одинъ и тотъ же.

Названія газовъ.	Коэффиціенты расширенія.	Названія газовъ.	Коэффиціенты расширенія.
Водородъ	0,003661	Закись азота . . .	0,003719
Воздухъ	0,003670	Синеродъ	0,003877
Угольный ангидридъ	0,003710	Сѣрнист. ангидридъ	0,003903

Метода Реньо заключается въ слѣдующемъ. Берутъ полый стеклянный шаръ A (фиг. 268), около $^3/_4$ литра въ объемѣ, и припаиваютъ къ нему стеклянную трубку S. Помощію металлической трубки съ краномъ n, соединяютъ трубку S съ ртутнымъ манометромъ $BCDE$, который состоитъ изъ двухъ трубокъ: BC и открытой сверху DE, утвержденныхъ въ общей оправѣ съ кра-

номъ N. Оба крана n и N имѣютъ три хода, какъ это изображено въ увеличенномъ разрѣзѣ H одного изъ крановъ. Реньо обратилъ особенное вниманіе на осушеніе газовъ. Съ этою цѣлью, соединяютъ шаръ A, помощію свинцовой или каучуковой трубки d, съ осушительнымъ снарядомъ, состоящимъ изъ ряда стеклянныхъ трубокъ, наполненныхъ хлористымъ кальціемъ. Крайняя изъ этихъ трубокъ сообщается со всасывающимъ воздушнымъ насосомъ. Оболочку A помѣщаютъ въ котелъ xy.



Фиг. 268.

Когда хотятъ производить испытаніе, то котелъ xy наполняютъ водою, которую приводятъ въ кипѣніе; въ то же время кранъ n такъ поворачиваютъ, чтобы шаръ A сообщался съ трубкой d, а манометръ былъ закрытъ. Потомъ, помощію воздушнаго насоса, выкачиваютъ воздухъ изъ оболочки A и снова впускаютъ воздухъ чрезъ осушительный снарядъ; такое дѣйствіе повторяютъ отъ 20 до 30 разъ. Тогда пары воды, заключенные въ струѣ воздуха, движущагося извнѣ въ оболочку A, задерживаются въ осушительномъ приборѣ; воздухъ, вытягиваемый изъ оболочки A, уноситъ съ собою пары, отдѣляющіеся, по причинѣ высокой температуры, отъ поверхности стекла, которое всегда болѣе или менѣе влажно. Впустивъ въ послѣдній разъ газъ въ оболочку A, выливаютъ горячую воду изъ котла xy и наполняютъ его мелко раздробленнымъ тающимъ льдомъ. Когда газъ въ оболочкѣ A приметъ температуру 0°, то кранъ n ставятъ въ такое положеніе, чтобы резервуаръ A сообщался съ манометромъ и былъ разъединенъ съ трубкой d, и, отворивъ кранъ N, выпускаютъ столько ртути, чтобы въ обѣихъ трубкахъ BC и ED жидкость стояла на одной высотѣ; тогда газъ A будетъ находиться подъ атмосфернымъ давленіемъ. Потомъ ледъ выгребаютъ и въ котелъ наливаютъ воды, которую снова доводятъ до кипѣнія. Упругость испытуемаго газа увеличивается, и ртуть въ трубкѣ

BC опускается, а въ ED повышается. Ртуть снова выпускаютъ чрезъ кранъ N до тѣхъ поръ, пока въ обоихъ колѣнахъ манометра она не будетъ стоять на одной высотѣ. Чтобы отсюда вывести коэффиціентъ расширенія газа, должно опредѣлить предварительно объемы оболочки A и трубокъ: S, n и BC до замѣтки, къ которой въ началѣ опыта приводили высоту ртути; ниже этой замѣтки, трубка BC расширяется и раздѣлена на части равной емкости. Объемъ ртути, вылившейся изъ трубки CB, показываетъ расширеніе газа при нагрѣваніи отъ 0° до температуры кипящей воды. Сверхъ того, необходимо знать коэффиціентъ расширенія емкости оболочки. Измѣненіе температуры газа въ трубкахъ: S, n и проч. не можетъ оказать большого вліянія на результатъ, по причинѣ ихъ малаго объема, но температуру расширенной части трубки BC нужно принимать во вниманіе; чтобы сдѣлать эту температуру постоянною, манометръ помѣщаютъ въ жестяной ящикъ KL, наполняемый водой, и котораго двѣ противоположныя стѣнки дѣлаются изъ стекла. Температура воды опредѣляется особеннымъ ртутнымъ термометромъ.

Указаннымъ пріемомъ можно опредѣлить коэффиціентъ расширенія газа подъ атмосфернымъ давленіемъ. Чтобы найти ту же величину при другихъ давленіяхъ, надо приводить ртуть въ трубкахъ BC и DE не къ одной, а къ разнымъ высотамъ. Если наприм. нужно было розыскать коэффиціентъ расширенія воздуха при 5 атмосферахъ, то воздухъ въ оболочкѣ A надо сгустить до этого давленія; тогда ртуть въ трубкѣ DE будетъ стоять выше на 120 дюйм., чѣмъ въ трубкѣ BC. Когда воздухъ въ оболочкѣ A имѣетъ 0°, то ртуть въ трубкѣ BC должно поставить противъ верхней замѣтки. При возвышеніи температуры до 100°, ртуть въ трубкѣ BC опускается, а въ трубкѣ DE подымается; чрезъ кранъ N выпускаютъ столько ртути, чтобы разность уровней опять сдѣлалась 120 дюйм.

Метода Реньо даетъ поводы къ неточности. Газъ, заключенный въ трубкѣ CB, имѣетъ иную температуру, чѣмъ газъ, содержащійся въ оболочкѣ; кромѣ того самое измѣреніе объема не можетъ быть исполнено такъ точно, какъ взвѣшиваніе. Эти несовершенства вполнѣ устранены проф. Менделѣевымъ. Фигура 269 изображаетъ схематическій чертежъ прибора, которымъ пользовался этотъ ученый. Яйцевидный сосудъ A наполняется чистымъ и сухимъ воздухомъ, или другимъ газомъ [1]); онъ помѣщается внутри другого сосуда xy и подвергается часа $1^1/_2$ дѣйствію паровъ кипящей воды, пока температура не сдѣлается постоянною. Капилярная трубка c назначается для приливанія и выливанія ртути изъ сосуда A; приливается ртуть изъ воронки v, выливается—въ сосудъ p. Когда температура установилась, то кранъ s запираютъ, а кранъ r отпираютъ, и выпускаютъ ртуть чрезъ трубку c, пока она не остановится на замѣткѣ m. Затѣмъ, помощію другой капилярной трубки b, сообщаютъ [2]) сосудъ A съ одною изъ вѣтвей нефтяного манометра n [3]). Другая вѣтвь манометра соединяется съ большимъ сосудомъ [4]), около ведра вмѣстимости, и поддерживаемаго при возможно постоянной температурѣ, чтобы упругость заключеннаго въ немъ воз-

---

[1]) Чрезъ особое приспособленіе, которое на фигурѣ не показано.

[2]) Также чрезъ особое приспособленіе, которое, равнымъ образомъ, на фигурѣ не показано.

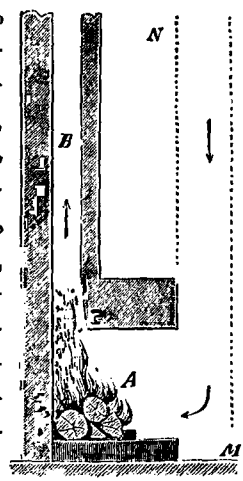
[3]) Манометръ наполняется, вмѣсто ртути, нефтянымъ масломъ, добываемымъ проф. Менделѣевымъ изъ нефти,—продуктомъ весьма легкимъ и неиспаряющимся.

[4]) На фигурѣ не показанъ.

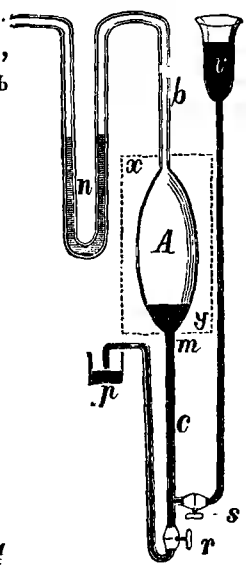
духа не измѣнялась. Замѣчаютъ положеніе жидкости въ обоихъ колѣнахъ манометра. Потомъ сосудъ A окружаютъ тающимъ льдомъ. Упругость воздуха въ этомъ сосудѣ станетъ уменьшаться. Чтобы поддержать жидкость въ манометрѣ на прежнихъ уровняхъ, надо вводить въ сосудъ A ртуть. Для этого, кранъ s отпираютъ, и ртуть, выходя изъ воронки v въ сосудъ A, поддерживаетъ воздухъ при прежней упругости. Часа черезъ $1^1/_2$, температура устанавливается. Тогда выпускаютъ ртуть изъ сосуда A до замѣтки m. По вѣсу выпущенной ртути, можно вычислить ея объемъ. Наконецъ, опредѣливъ изъ предварительныхъ испытаній объемъ оболочки и ея расширеніе при нагрѣваніи, не трудно вычислить расширеніе газа. Изъ 9 опытовъ проф. Менделѣевъ нашелъ для коэффиціента расширенія воздуха 0,0036843.

196. Топленіе. На расширеніи воздуха основано топленіе каминовъ и печей.

Фабричная печь состоитъ изъ горна A (фиг. 270), въ которомъ горятъ дрова, каменный уголь, или какой нибудь другой горючій матеріалъ, и изъ высокой трубы B. Пусть въ трубѣ и горнѣ воздухъ теплѣе и, слѣдовательно, легче наружнаго; посмотримъ, какія давленія испытываетъ частица A воздуха въ горнѣ. Для этого вообразимъ внѣшній столбъ воздуха MN, котораго высота равна высотѣ трубы. На вершины обоихъ столбовъ воздуха, теплаго и холоднаго, производятся со стороны атмосферы равныя давленія, которыя потомъ передаются частицѣ A съ противоположныхъ сторонъ и, слѣдовательно, взаимно уничтожаются. Остаются только давленія самихъ столбовъ, которыя не могутъ уравновѣшиваться, такъ какъ холодный воздухъ плотнѣе и, слѣдовательно, тяжеле теплаго. Поэтому, внѣшній вездухъ течетъ въ горнъ и трубу и вытѣсняетъ оттуда нагрѣтые газы; вмѣстѣ съ тѣмъ, онъ приноситъ кислородъ, необходимый для горѣнія. Въ горнѣ воздухъ нагрѣвается и, сдѣлавшись отъ этого легче, подымается потомъ въ трубу; на мѣсто его, притекаетъ свѣжій наружный воздухъ. При этомъ вещества, получаемыя при горѣніи: сажа, углекислый газъ и проч., образующія то, что мы въ общежитіи называемъ дымомъ, уносятся чрезъ трубу наружу.



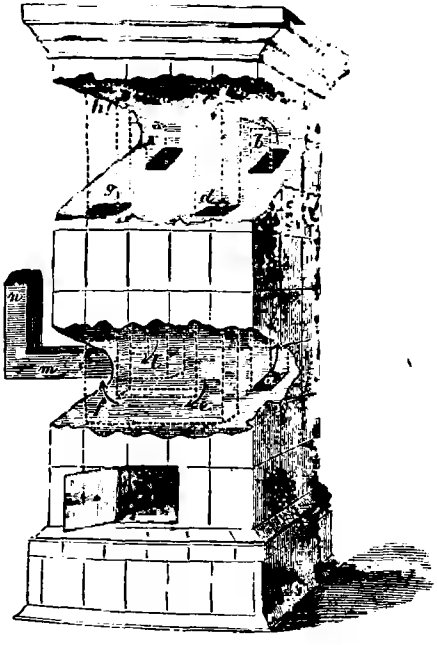
Фиг. 270.



Фиг. 269.

Теченіе воздуха или *тяга* тѣмъ сильнѣе, и, слѣдовательно, температура печи тѣмъ выше, чѣмъ длиннѣе труба, потому что разность въ давленіи столбовъ теплаго и холоднаго воздуха возрастаетъ съ увеличеніемъ длины трубы.

Въ печахъ этого рода бо́льшая часть тепла тратится безполезно, потому что употребляется на нагрѣваніе воздуха, который потомъ разсѣивается въ атмосферѣ, но зато онѣ даютъ весьма высокую температуру, что на фабрикахъ и заводахъ очень важно. Въ домовыхъ печахъ, при отапливаніи покоевъ, высокая температура не имѣетъ почти никакого значенія; въ этомъ случаѣ преимущественно заботятся дать такое устройство печи, чтобы она по возможности болѣе задерживала тепла, освобождаемаго горючимъ матеріаломъ. Для этого надо замедлить тягу и горѣніе, а этого можно достигнуть, заставляя разгоряченные въ горнѣ газы пройти по многимъ каналамъ, прежде чѣмъ они выйдутъ чрезъ трубу наружу. Въ голландской или обыкновенной домовой печи воздухъ изъ горна подымается сначала по каналу *ab* (фиг. 271), потомъ опускается по каналу *cde*, далѣе опять течетъ вверхъ по *fgh* и, наконецъ, чрезъ каналъ *kl* и трубу *nm* выходитъ наружу. При такомъ устройствѣ печи, тяга замедляется, частію отъ тренія воздуха о стѣнки дымовыхъ каналовъ, частію отъ того, что, находясь довольно долго въ прикосновеніи со стѣнками трубы и печи, разгоряченный воздухъ отдаетъ имъ бо́льшую часть своего теплорода и въ значительной степени охлаждается. Когда дрова сгорятъ, а раскаленная масса оставшихся углей съ поверхности потемнѣетъ (признакъ, что горѣніе прекратилось), то заслонку запираютъ и посредствомъ вьюшки прекращаютъ сообщеніе горна съ наружнымъ воздухомъ. Вьюшка есть чугунный кружокъ, перегораживающій каналъ *kl*, который сообщается съ комнатнымъ воздухомъ посредствомъ особаго отверстія, не показаннаго на фигурѣ и запираемаго дверцей. Когда уг-



Фиг. 271.

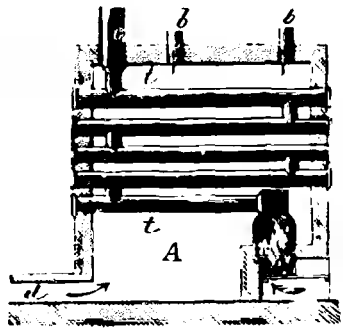
ли совершенно потухнутъ, то можно открыть заслонку и дверцу въ каналъ *kl*; тогда комнатный воздухъ входитъ въ горнъ и, пройдя по дымовымъ каналамъ, выходитъ опять въ комнату, черезъ отверстіе въ каналѣ *kl*, уже нагрѣтый.

Русская печь не имѣетъ дымовыхъ каналовъ (фиг. 272); труба *B* находится впереди горна *A*; комнатный воздухъ частію уходитъ въ трубу, частію входитъ чрезъ устье *O* и течетъ въ горнѣ по низу, потомъ возвращается чрезъ верхнюю часть и подымается вмѣстѣ съ дымомъ въ трубу *B*.

Отапливаніе производятъ еще многими другими способами. Наприм., проводятъ изъ котла, въ которомъ кипитъ вода, систему развѣтвляющихся металлическихъ трубъ въ разныя части зданія. Водяные пары, переходя въ жидкое состояніе, освобождаютъ большое количество скрытой теплоты, которая чрезъ стѣнки трубы сообщается комнатному воздуху.

Иногда въ комнату вводятъ уже нагрѣтый воздухъ; для этого въ подвальномъ этажѣ устраиваютъ большой резервуаръ *A* (фиг. 273), содержащій систему желѣзныхъ трубъ *tt*; дымъ и раскаленный воздухъ изъ горна *F*, отап-

Фиг. 272.



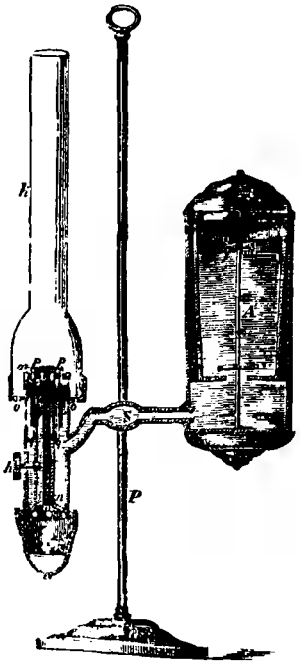
Фиг. 273.

ливаемаго горючими матеріалами, проходятъ по этой системѣ и уносятся чрезъ трубу *c* наружу. Резервуаръ *A* сообщается трубою *d* съ наружнымъ воздухомъ, а трубами *b* и ихъ развѣтвленіями съ отапливаемыми комнатами. Наружный холодный воздухъ входитъ чрезъ трубу *d* въ резервуаръ, гдѣ онъ въ прикосновеніи съ накаленными трубами *tt* нагрѣвается, потомъ течетъ въ трубы *b* и, наконецъ, входитъ чрезъ отдушины въ комнаты; испорченный же комнатный воздухъ вытѣсняется, чрезъ щели въ дверяхъ и окнахъ, наружу.

Отапливаніе нагрѣтымъ воздухомъ требуетъ, сравнительно съ другими способами, немного горючаго матеріала, но доставляетъ слишкомъ сухой воздухъ, вредный для дыханія. Чтобы сообщить ему нѣсколько влаги, въ резервуарѣ *A* помѣщаютъ сосудъ съ водою, или у отдушинъ развѣшиваютъ полотно, которое постоянно смачивается. Кромѣ того, наружный воздухъ всегда содержитъ органическія вещества, которыя, входя въ нагрѣваемый резервуаръ *A*, сгораютъ въ прикосновеніи съ раскаленными трубами, а продукты горѣнія вносятся потомъ въ комнату. Вредные для дыханія газы могутъ проникать въ камеру *A* даже непосредственно изъ дымовыхъ трубъ чрезъ ихъ стѣнки, потому что желѣзо, подобно чугуну и другимъ металламъ, способно, въ раскаленномъ состояніи, пропускать чрезъ себя газы.

Зимою, въ обитаемыхъ покояхъ скопляется много угольнаго ангидрида и другихъ газовъ, неспособныхъ поддерживать дыханіе, а потому въ комнатахъ, отъ времени до времени воздухъ надо перемѣнять. Замѣна испорченнаго воздуха свѣжимъ называется *вентилированіемъ*. Топленіе обыкновеннымъ способомъ есть довольно хорошее къ тому средство: когда въ печи происходитъ горѣніе, то наружный воздухъ чрезъ незамѣтныя скважины въ рамахъ и дверяхъ входитъ въ комнату и вытѣсняетъ комнатный воздухъ въ трубу.

При большомъ скопленіи людей, напр. въ театрахъ, почтамтахъ, больницахъ и проч., воздухъ портится такъ скоро, что для очищенія его, обыкновеннаго топленія недостаточно; тогда приходится употреблять особыя средства вентилированія. Иногда это производится посредствомъ *вентиляторовъ*— приборовъ, вталкивающихъ свѣжій, предварительно нагрѣтый воздухъ, который вытѣсняетъ испорченный, или наоборотъ, вытягивающихъ воздухъ худой, на мѣсто котораго атмосферное давленіе вгоняетъ наружный чистый воздухъ. Въ жилыхъ комнатахъ для очищенія воздуха употребляются камины, которыхъ устройство отличается отъ обыкновенныхъ печей только тѣмъ, что они не имѣютъ дымовыхъ каналовъ, но теплый воздухъ прямо изъ горна уходитъ чрезъ трубу наружу, какъ въ печахъ фабричныхъ, а потому камины почти не сообщаютъ комнатамъ теплоты.



Фиг. 274.

Горѣніе свѣчи, или другого тѣла, при свободномъ притокѣ воздуха сопровождается тѣми же явленіями, какія замѣчаются при топленіи печей. Вся разница заключается только въ томъ, что здѣсь воздухъ притекаетъ не съ одной стороны къ горящему тѣлу, но со всѣхъ; такъ какъ разгоряченные воздухъ и продукты горѣнія легче холоднаго воздуха, то они уносятся вверхъ и поддерживаютъ пламя въ вертикальномъ положеніи.

Горѣніе въ лампахъ. Когда хотятъ усилить свѣтъ лампы (фиг. 274), то надъ трубкой, содержащей горящую свѣтильню, ставятъ стеклянную трубку k, которая имѣетъ то же значеніе, что и труба въ печахъ; она ускоряетъ теченіе воздуха и горѣніе масла, и потому увеличиваетъ силу свѣта. Для той же цѣли заставляютъ воздухъ притекать не съ одной, но съ двухъ сторонъ: снаружи чрезъ отверстія o и чрезъ внутренній каналъ m; горѣніе тогда совершается еще быстрѣе. Свѣтильня p, насаженная на цилиндръ q, приподнимается винтомъ h; по мѣрѣ сгоранія, въ цилиндрическое, кольцеобразное пространство mm масло прибываетъ по трубкѣ s, изъ сосуда A.

197. Связь сцѣпленія съ расширеніемъ чрезъ нагрѣваніе. Явленія расширенія тѣлъ отъ теплоты могутъ быть объясняемы помощію атомистической гипотезы.

Величина расширенія зависитъ отъ взаимнаго притяженія частицъ и отталкивательной силы теплорода. Чѣмъ труднѣе тѣло растягивать или сжимать механическими средствами, тѣмъ оно менѣе расширяется отъ нагрѣванія, при однихъ и тѣхъ же обстоятельствахъ. Наибольшее частичное притяженіе замѣчается въ тѣлахъ твердыхъ, въ жидкостяхъ оно слабо, а газы не имѣютъ его вовсе; соотвѣтственно тому, самое большое расширеніе принадлежитъ газамъ, наименьшее—тѣламъ твердымъ. Тѣла легкоплавкія суть въ то же время и наиболѣе сжимаемыя и расширяемыя механически, а потому имѣютъ и наибольшіе коэффиціенты расширенія. Газы, сжимаемые въ бо́льшей степени, нежели слѣдуетъ по закону Маріотта, имѣютъ самые большіе коэффиціенты расширенія.— Сила, потребная для удержанія тѣла отъ расширенія при нагрѣваніи, равна той, какую надо употребить, чтобы сжать тѣло на величину, равную расширенію.

Хотя эти замѣчанія въ общихъ чертахъ подтверждаются на опытѣ, однакоже въ нѣкоторыхъ частныхъ случаяхъ не оправдываются. Такое отступленіе можно объяснить тѣмъ, что притяженіе не только зависитъ отъ разстоянія частицъ, но также и отъ ихъ взаимнаго положенія, а что это положеніе, съ измѣненіемъ температуры, также измѣняется, можно доказать многими примѣрами. Такъ, цинкъ, металлъ вязкій при обыкновенной температурѣ, дѣлается хрупкимъ выше 200°. Закаленная сталь, будучи тверда и хрупка, можетъ быть отвариваніемъ сдѣлана мягкою и упругою.

При возвышеніи температуры разстояніе между частицами увеличивается, а притяженіе уменьшается; слѣдовательно, чѣмъ выше температура, тѣмъ тѣла должны расширяться болѣе.

Въ газахъ, по причинѣ ихъ разрѣженности, сила притяженія не можетъ много измѣняться съ увеличеніемъ разстоянія; поэтому, коэффиціенты расширенія всѣхъ газовъ приблизительно равны между собою и остаются такими при разныхъ температурахъ. Это въ особенности относится къ газамъ, когда они находятся подъ слабымъ давленіемъ. Водородъ одинъ представляетъ замѣчательное исключеніе: при всѣхъ давленіяхъ расширяемость его одна и та же; это указываетъ на чрезвычайную малость силы взаимнаго притяженія частицъ, а также на то, что этотъ газъ долженъ расширяться одинаково при всѣхъ температурахъ.

О термометрахъ.

198. Сравненіе термометровъ. Измѣреніе температуры основано преимущественно на свойствѣ тѣлъ—расширяться при нагрѣваніи; разсмотримъ, какой смыслъ имѣетъ этотъ способъ. Законъ, по которому измѣняется коэффиціентъ расширенія съ возвышеніемъ температуры, различенъ для каждаго тѣла, а потому термометры изъ разныхъ веществъ не должны давать согласныхъ показаній. Для доказательства наполнимъ нѣсколько термометрическихъ приборовъ разными веществами: водою, масломъ, ртутью, воздухомъ и проч., и раздѣлимъ пространство между постоянными точками [23] на 100 равныхъ частей;

температуры, показываемыя такимъ образомъ приготовленными, термометрами, оказываются между собою несогласными: когда наприм., на ртутномъ термометрѣ читаемъ 25^0, то масляный даетъ $24^0,1$, а водяной—только $5^0,1$, и проч. Чтобы рѣшить, какое изъ веществъ наиболѣе пригодно для измѣренія температуръ, надо узнать тѣ требованія, которымъ долженъ удовлетворять *нормальный* или самый совершенный термометръ.

Прежде полагали, что наиболѣе совершенный термометръ былъ бы тотъ, въ которомъ расширеніе совершалось бы пропорціонально количеству сообщаемаго тепла. Ни одно изъ извѣстныхъ намъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ не удовлетворяетъ этому требованію. Такъ какъ водородъ расширяется одинаково при всѣхъ давленіяхъ, то съ большою вѣроятностью можно заключить, что этотъ газъ расширяется пропорціонально количеству сообщаемаго ему тепла; къ сожалѣнію мы не имѣемъ средствъ убѣдиться въ этомъ изъ опыта. Впрочемъ, хотя бы и существовало вещество, удовлетворяющее упомянутому требованію, приготовленный изъ него термометръ не имѣлъ бы важныхъ преимуществъ; ибо, измѣряя количество поглощаемой имъ самимъ теплоты, онъ не показывалъ бы, сколько другія вещества требуютъ тепла для своего нагрѣванія.

Въ настоящее время принимаютъ, что термометры должны удовлетворять только одному условію,—быть *сравнимыми*, то есть два термометра, приготовленные въ разныхъ мѣстахъ, въ разное время, разными наблюдателями, должны показать одну и ту же температуру, если будутъ погружены въ одну и ту же ванну. Всѣ употребляемые термометры состоятъ обыкновенно изъ стеклянной оболочки, наполняемой жидкостью, или газомъ; поэтому, показанія термометра зависятъ отъ двухъ причинъ: расширенія оболочки и заключеннаго въ ней вещества. Отсюда ясно, что для сравнимости термометровъ необходимо имѣть: 1) оболочки изъ одного и того же стекла, которое расширялось бы при возвышеніи температуры по какому угодно закону, но одинаковому для всѣхъ оболочекъ, и 2) одно и то же вещество. Послѣднему требованію удовлетворяютъ всѣ тѣ жидкости, которыя можно приготовлять химически чистыми и, слѣдовательно, всегда одинаковыми; такова наприм. ртуть. Зато выполненіе перваго требованія оказывается невозможнымъ, потому что стекла различаются другъ отъ друга и по химическому составу, и по приготовленію, а какъ отъ того, такъ и отъ другого зависитъ расширяемость стекла; два стеклянные стержня, даже одинаковаго состава, изготовленные на одномъ и томъ же заводѣ, нерѣдко имѣютъ разные коэффиціенты расширенія. Такимъ образомъ, вполнѣ удовлетворить сравнимости термометровъ нельзя. Остается только уменьшить вліяніе оболочки, наполняя ее веществомъ, котораго расширяемость весьма велика. Это имѣетъ мѣсто въ воздушныхъ термометрахъ, т. е.

термометрахъ, которыхъ оболочки наполняются воздухомъ, потому что воздухъ и вообще газы расширяются въ 160 разъ сильнѣе, чѣмъ стекло. Реньо въ самомъ дѣлѣ убѣдился изъ опыта, что воздушные термометры, которыхъ оболочки были приготовлены изъ стеколъ разнаго рода, давали согласныя показанія отъ самыхъ низкихъ до самыхъ высокихъ температуръ. Итакъ, термометръ воздушный есть термометръ сравнимый. Ему даютъ различное устройство. Приборъ, назначаемый для доказательства расширяемости газовъ [22], можетъ служить вмѣсто воздушнаго, или вообще газоваго термометра. Жидкость надо взять малолетучую, напр. ртуть; газъ долженъ быть высушенъ. Постоянныя точки опредѣляются обыкновеннымъ способомъ, чрезъ погруженіе въ тающій ледъ и потомъ въ пары кипящей воды.

Изъ точныхъ воздушныхъ термометровъ мы опишемъ только одинъ. Къ резервуару K (фиг. 267) придѣлываютъ изогнутую калибрированную трубку Gn, которой конецъ опускаютъ въ сосудъ n со ртутью, такъ чтобы онъ только касался этой жидкости. Потомъ нагрѣваютъ оболочку K до какой нибудь температуры. Газъ расширяется и выходитъ наружу. Когда температура сдѣлается постоянною, то сосудъ n поднимаютъ, чтобы трубка Gn нѣсколько погрузилась въ ртуть. При охлажденіи до нѣкоторой температуры, упругость воздуха уменьшится, и наружное давленіе вгонитъ ртуть въ трубку. Зная высоту поднятаго ртутнаго столбика, коэффиціентъ расширенія воздуха и отношеніе емкостей одного дѣленія трубки и оболочки K, можно вычислить измѣненіе температуры.

Показанія воздушнаго термометра зависятъ отъ давленія атмосферы: если оно измѣнится, то передвиженіе жидкости въ трубкѣ укажетъ на измѣненіе температуры, хотя бы въ дѣйствительности этого не было. Поэтому, при каждомъ наблюденіи необходимо замѣчать высоту барометра и по ней поправлять температуру. Это обстоятельство дѣлаетъ воздушный термометръ весьма неудобнымъ при употребленіи; но зато онъ принадлежитъ къ числу сравнимыхъ термометровъ и для высокихъ температуръ есть единственный надежный.

На показанія ртутныхъ термометровъ довольно большое вліяніе оказываетъ расширеніе оболочки, потому что оно составляетъ довольно значительную часть (около $^1/_7$) расширенія ртути. Реньо, приготовивъ совершенно одинаковымъ образомъ нѣсколько ртутныхъ термометровъ, которыхъ оболочки были сдѣланы изъ стеколъ разнаго рода, нашелъ, что показанія ихъ были иногда весьма несогласны при высокихъ температурахъ; такъ одинъ термометръ, съ оболочкой изъ обыкновеннаго стекла, показывалъ 360°,5, между тѣмъ какъ другой, съ резервуаромъ изъ хрусталя, 354°; въ то же время на воздушномъ термометрѣ было 350°. Даже при температурахъ ниже 100°, ртутные термометры не даютъ

вполнѣ согласныхъ показаній между собою и съ воздушнымъ, хотя разности здѣсь и малы. По этимъ причинамъ, термометръ ртутный—*несравнимъ*, особенно для измѣренія высокихъ температуръ, но, впрочемъ, можетъ быть употребляемъ, если предварительно былъ вывѣренъ по воздушному термометру.

Для измѣренія весьма низкихъ температуръ ртутный термометръ не годится, потому что при—40° ртуть отвердѣваетъ. Тогда вмѣсто этой жидкости употребляютъ алкоголь. Дѣленія на спиртовомъ термометрѣ дѣлаютъ по сравненію съ воздушнымъ, погружая оба въ ванну, которой температуру постепенно измѣняютъ. Алкоголь можно съ выгодою замѣнить сѣроуглеродомъ, такъ какъ эту жидкость легко получить химически чистою.

Изъ предыдущаго видимъ, что воздушный термометръ способенъ доставить сравнимые результаты и, слѣдовательно, есть нормальный, но, къ сожалѣнію, неудобенъ. Ртутный и спиртовой подвержены неправильностямъ, зависящимъ отъ расширенія оболочекъ, но не требуютъ ни труда, ни навыка при наблюденіи, а потому въ общежитіи исключительно одни употребляются.

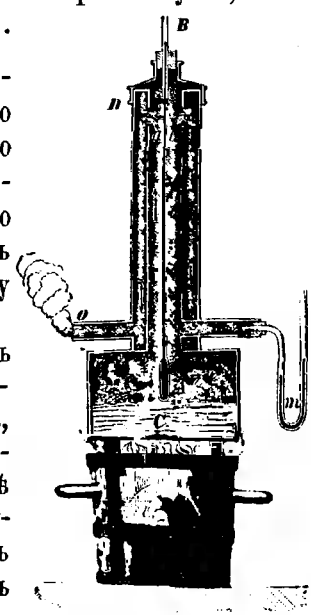
Фиг. 275.

199. Приготовленіе ртутныхъ термометровъ. Для приготовленія ртутнаго термометра берется стеклянная трубка; одинъ конецъ ея запаиваютъ и погружаютъ въ пламя лампы; стекло размягчается; тогда вдуваютъ ртомъ чрезъ другой конецъ воздухъ; образуется резервуаръ, которому можно дать произвольную форму. Трубка выбирается такая, которая имѣла бы по всей длинѣ одинаковый поперечный разрѣзъ, чтобы равныя дѣленія ея имѣли одинаковый объемъ. Въ этомъ убѣждаются, втягивая ртомъ въ трубку каплю ртути, которая принимаетъ тогда видъ столбика. Потомъ трубку упираютъ однимъ концемъ, въ наклонномъ положеніи, въ столъ и сообщаютъ ей рукою легкіе удары; отъ этого, столбикъ ртути передвигается, и если во всякомъ положеніи длина его не измѣняется, то трубка годится.

Къ трубкѣ припаиваютъ воронку h (фиг. 275), въ которую наливаютъ ртути. Жидкость войдетъ нѣсколько въ трубку; чрезъ это воздухъ резервуара A сожмется, но наружу чрезъ ртуть не выйдетъ, по причинѣ капиллярности трубки. Потомъ оболочку A нагрѣваютъ на лампѣ; отъ этого, содержащійся въ ней воздухъ получитъ бо́льшую упругость, выгонитъ ртуть изъ трубки въ воронку и частію выйдетъ наружу. Затѣмъ лампу удаляютъ: воздухъ охлаждается; упругость его

уменьшается; давленіе атмосферы беретъ перевѣсъ, и ртуть вталкивается въ резервуаръ *A*. Приборъ опять нагрѣваютъ и доводятъ ртуть въ оболочкѣ *A* до кипѣнія. Ртутные пары вытѣсняютъ воздухъ и наполняютъ собою резервуаръ *A* и трубку. Когда снова примемъ лампу, то пары ртути перейдутъ въ капельное состояніе; образуется пустота, которую тотчасъ же займетъ ртуть изъ воронки. Потомъ воронку отламываютъ и приборъ нагрѣваютъ до такой температуры, выше которой не предполагаютъ производить наблюденія. Ртуть расширяется, и часть ея выливается наружу. Затѣмъ запаиваютъ отверстіе трубки, направляя на него пламя лампы. Если послѣ того охладить приборъ, то ртуть опускается, оставляя за собою въ верхней части пустоту. Потомъ остается только опредѣлить постоянныя точки.

Извѣстно, что температура кипящей воды и освобождающагося изъ нея пара зависитъ отъ вещества сосуда и количества растворенныхъ солей, между тѣмъ какъ температура, которую показываетъ помѣщенный въ парахъ термометръ, не зависитъ отъ этихъ обстоятельствъ и измѣняется только съ давленіемъ атмосферы [178]; она представляетъ истинную точку кипѣнія воды. Поэтому, термометръ погружаютъ не въ воду, а въ пары ея. Условились обозначать числомъ 100 температуру кипѣнія воды при опредѣленномъ давленіи. У насъ въ Россіи нормальнымъ давленіемъ считаютъ 30 дюйм.; во Франціи 760 миллиметровъ, что 2-мя миллиметрами менѣе 30 д. Отъ этого, температура кипѣнія въ первомъ случаѣ, то есть при 30 д., выше чѣмъ во второмъ, на $\frac{1^0}{25}$. Такъ какъ при приготовленіи термометра давленіе почти всегда бываетъ иное, то нужно заранѣе составить таблицу, гдѣ бы показано было измѣненіе температуры кипѣнія съ измѣненіемъ давленія и изъ которой можно было бы узнать, на сколько надо удлинить или укоротить шкалу, т. е. разстояніе между точками замерзанія и кипѣнія.



Фиг. 276.

Точка кипѣнія опредѣляется особеннымъ приборомъ. Онъ состоитъ изъ латуннаго ящика *C* (фиг. 276), въ которомъ кипитъ вода, нагрѣваемая спиртовою лампою, или на очагѣ; пары подымаются по жестяной трубкѣ *HH*, потомъ опускаются по другой *DD*, окружающей первую, и выходятъ наружу чрезъ отверстіе *O*. Трубка *DD* предохраняетъ паръ въ трубкѣ *HH* отъ охлажденія чрезъ сопри-

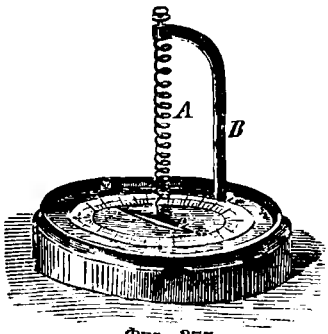
косновеніе съ наружнымъ воздухомъ. Въ трубку *HH* опускаютъ термометръ *AB*; ртуть термометра, нагрѣваемая паромъ, расширяется и, наконецъ, останавливается; на трубкѣ *B*, противъ вершины ртутнаго столбика, дѣлаютъ замѣтку; это будетъ точка кипѣнія. Упругость пара, при быстромъ ея освобожденіи, можетъ сдѣлаться болѣе упругости атмосфернаго воздуха. Поэтому, внутренняя трубка *HH* сообщается съ водянымъ манометромъ *m*, состоящимъ изъ согнутой стеклянной трубки съ водой; тогда малѣйшая разность въ упругостяхъ обнаруживается тѣмъ, что жидкость въ наружномъ колѣнѣ сифона *m* повышается.

Точка замерзанія опредѣляется чрезъ погруженіе термометра въ тающій ледъ, или снѣгъ, при чемъ слѣдуетъ заботиться, чтобы къ снѣгу не было примѣшано веществъ, ускоряющихъ таяніе [183].

Измѣненіе температуры замерзанія отъ измѣненія атмосфернаго давленія [174] такъ ничтожно, что его не принимаютъ во вниманіе.

200. Пониженіе нуля. Если давно приготовленный термометръ погруженъ въ тающій ледъ, то ртуть останавливается выше точки замерзанія. Такимъ образомъ, спустя нѣсколько времени, нуль шкалы оказывается ниже дѣйствительнаго нуля, и термометръ начинаетъ показывать болѣе истиннаго. Это перемѣщеніе, достигающее 2°, происходитъ не мгновенно, но совершается постепенно въ продолжительные сроки, иногда до 5 лѣтъ, послѣ чего прекращается. Оно объясняется тѣмъ, что оболочка, будучи разъ нагрѣта, не принимаетъ при быстромъ охлажденіи надлежащаго объема и возвращается къ нему только впослѣдствіи. Справедливость этого объясненія была подтверждена многими опытами. Между прочимъ, Реньо, охлаждая оболочки весьма медленно, получалъ термометры, въ которыхъ пониженіе нуля было менѣе 0°,01. Эта неправильность усложняетъ термометрическія наблюденія: не имѣя возможности знать, когда произойдетъ измѣненіе въ положеніи нуля, наблюдатель долженъ, отъ времени до времени, вновь опредѣлять точку замерзанія на своихъ термометрахъ.

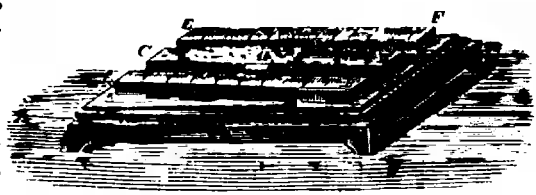
201. Термометръ Брегета. На не одинаковомъ расширеніи металловъ основано устройство термометра Брегета. Главная часть его состоитъ изъ длинной и узкой полоски *A* (фиг. 277), спаянной по длинѣ изъ трехъ металловъ: серебра, золота и платины; пластинка скручивается въ спираль и прикрѣпляется однимъ концемъ къ стойкѣ *B*, а на другомъ имѣетъ стрѣлку *c*. При возвышеніи температуры, всѣ три металла расширяются, но неодинаково: платина, находящаяся на внутренней поверхности спирали, — менѣе всѣхъ, золото—нѣсколько болѣе, серебро, покрывающее наружную поверхность спирали,—еще болѣе; отъ этого спираль



Фиг. 277.

закручивается, и стрѣлка *c* движется по окружности, раздѣленной на части. При пониженіи температуры, спираль распрямляется, и стрѣлка отклоняется въ противную сторону. Значеніе дѣленій окружности можно заранѣе опредѣлить по сравненію съ обыкновеннымъ термометромъ. Приборъ Брегета отличается весьма большою чувствительностью: онъ показываетъ малѣйшія колебанія температуры и притомъ тотчасъ, какъ только произойдетъ измѣненіе, потому что теплота передается непосредственно изъ среды въ металлическую спираль, между тѣмъ какъ въ обыкновенныхъ термометрахъ она должна пройти предварительно чрезъ оболочку, сдѣланную изъ худого проводника.

202. Пирометръ. Для измѣренія высокихъ температуръ ртутный термометръ не годится, потому что ртуть уже при 350° кипитъ. Тогда употребляются особые инструменты, называемые *пирометрами*; лучшій изъ нихъ есть воздушный термометръ, шарикъ котораго дѣлается изъ тугоплавкаго стекла, или платины. Но наблюденія этимъ приборомъ сопряжены съ большими затрудненіями; вотъ почему фабриканты предпочитаютъ пользоваться хотя менѣе точными, но за то болѣе удобными пирометрами. Изъ числа такихъ назовемъ пирометръ Веджвуда. Есть особый родъ глины, которая при нагрѣваніи высыхаетъ и сжимается, а по охлажденіи сохраняетъ свой уменьшенный объемъ; чѣмъ выше температура, тѣмъ болѣе сжатіе. Цилиндръ, приготовленный изъ такой глины, бросаютъ въ печь, температуру которой хотятъ опредѣлить. Спустя нѣсколько времени, цилиндръ вынимаютъ, даютъ ему охладиться и измѣряютъ величину его особымъ приборомъ, который состоитъ (фиг. 278) изъ трехъ линеекъ AB, CD и EF, наклоненныхъ одна къ другой подъ весьма малыми углами и прикрѣпленныхъ къ доскѣ; уголъ, образованный линейками AB и CD, равенъ углу, образованному линейками CD и EF; FD, наибольшее разстояніе линеекъ CD и EF, равно AC, наименьшему разстоянію AB и CD, такъ что каналъ ED можетъ служить продолженіемъ канала BC. На линейкахъ сдѣланы дѣленія. Охлажденный глиняный цилиндръ вдвигаютъ между линейками до тѣхъ поръ, пока, по причинѣ суживанія канала, цилиндръ идти далѣе не можетъ; по нумеру дѣленія, противъ котораго онъ тогда остановится, судятъ о температурѣ печи.



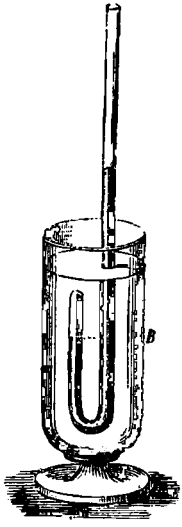
Фиг. 278.

Сравненіе съ воздушнымъ термометромъ показало, что нуль пирометра Веджвуда или наименьшая температура, соотвѣтствующая наибольшему разстоянію между линейками, равна 580°; каждое дѣленіе пирометра 72°.

На фарфоровыхъ заводахъ часто употребляется пирометръ Броньяра. Серебряный стержень погружается въ печь, гдѣ одинъ конецъ его упирается въ неподвижную точку, а другой—въ фарфоровый стержень, который выходитъ чрезъ стѣнку печи наружу и надавливаетъ на конецъ короткаго плеча рычага. По перемѣщенію конца длиннаго плеча рычага судятъ о температурѣ. Удлиненіемъ фарфороваго стержня пренебрегаютъ, по причинѣ слабой его расширяемости.

О парахъ.

203. Упругость паровъ. Пары, освобождающіеся изъ кипящей жидкости, имѣютъ, подобно газамъ, упругость. Для доказательства, берутъ стеклянную изогнутую трубку (фиг. 279), запаянную съ одного конца, и наполняютъ ее ртутью; потомъ впускаютъ каплю сѣрнаго эфира въ закрытое колѣно сифона, а изъ открытаго нѣсколько ртути сливаютъ. Эфиръ кипитъ при 35°, а потому, если погрузимъ закрытый конецъ трубки въ сосудъ *B* съ водой, нагрѣтой выше этой температуры, то часть эфира обратится въ паръ; ртуть опустится въ закрытомъ колѣнѣ трубки и повысится въ открытомъ колѣнѣ. Разность высотъ ртути въ обоихъ колѣнахъ сифона опредѣляетъ, на сколько упругость эфирныхъ паровъ болѣе упругости воздуха.



Фиг. 279.

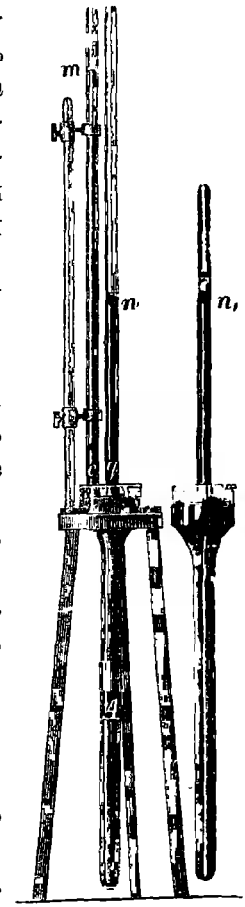
204. Пары имѣютъ упругость не только при кипѣніи жидкости, но и при всякой температурѣ; чтобы увѣриться въ этомъ, необходимо устранить атмосферный воздухъ, потому что, дѣйствуя совокупно съ паромъ, онъ скрываетъ упругость пара въ большей или меньшей степени.

Вообразимъ высокій сосудъ *A* (фиг. 280), наполненный ртутью; потомъ возьмемъ стеклянную барометрическую трубку, нальемъ въ нее до краевъ очищенной ртути и, закрывъ открытый конецъ пальцемъ, опустимъ въ ртуть сосуда, какъ при опытѣ Торичелли [119]; замѣтимъ высоту ртутнаго столба *mc*, уравновѣшивающаго давленіе атмосферы. Затѣмъ возьмемъ другую трубку, нальемъ въ нее, какъ и въ первую, очищенной ртути, а сверху прибавимъ немного какой нибудь жидкости, напр. сѣрнаго эфира; потомъ, закрывъ отверстіе пальцемъ, погрузимъ снова во ртуть, заботясь при этомъ, чтобы въ трубку не попалъ наружный воздухъ. Тотчасъ увидимъ, что сѣрный эфиръ, по своей легкости, подымается чрезъ ртуть въ барометрическую пустоту, и какъ только достигнетъ ея, то ртуть въ трубкѣ *nq* мгновенно опустится до *n*, ниже прежняго уровня *m*. Это могло произойти только отъ того, что часть эфира обратилась въ паръ, который своею упругостью выгналъ ртуть изъ трубки. Величина упругости измѣряется столбомъ ртути *mn*, равнымъ разности высотъ ртутныхъ столбовъ *mc* и *nq*.

Если вдвинемъ трубку *nq* въ сосудъ *A*, то уровень n_1 ртутнаго столба останется на прежней высотѣ противъ *n*, а слой жидкаго сѣрнаго эфира замѣтно увеличится. Слѣдовательно, при уменьшеніи пространства, занимаемаго паромъ, часть его перешла въ жидкое состояніе,

а оставшаяся часть сохранила прежнюю упругость. Обратно, при подниманіи трубки, слой сѣрнаго эфира уменьшается, но величина ртутнаго столба, а, слѣдовательно, и упругость пара, не измѣняются.

Предположимъ теперь, что весь эфиръ испарился, и станемъ подымать трубку, чтобы увеличить пространство, занимаемое парами; тогда высота ртутнаго столба будетъ увеличиваться. Отсюда выходитъ, что, съ увеличеніемъ пространства, занимаемаго паромъ, упругость уменьшается; измѣряя объемы пара при разныхъ повышеніяхъ трубки и соотвѣтственныя упругости, можно будетъ доказать, что пары слѣдуютъ приблизительно закону Маріотта, подобно газамъ.



Фиг. 280.

Совершенно тѣ же явленія представляютъ пары всѣхъ другихъ жидкостей: спирта, воды и проч. Разница заключается только въ томъ, что упругость паровъ разныхъ жидкостей при одной и той же температурѣ бываетъ различна. Такъ, при температурѣ 20° пары сѣрнаго эфира имѣютъ упругость 433^{mm}, 3, алкоголя—44^{mm}, 5, воды—17^{mm}, 4. Пары ртути въ торичелліевой пустотѣ уменьшаютъ нѣсколько высоту барометра, но упругость ихъ такъ мала при обыкновенной температурѣ, что ею пренебрегаютъ.

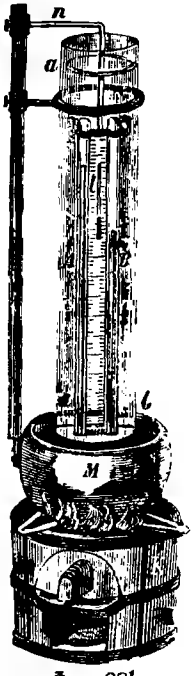
205. Пары въ состояніи насыщенія. Если станемъ въ барометрическую пустоту впускать, капля по каплѣ, какой либо жидкости, то каждый разъ при входѣ капли ртуть опускается, а жидкость мгновенно исчезаетъ, обращаясь въ пары. Повторивъ это нѣсколько разъ, мы, наконецъ, увидимъ, что вновь впускаемая капля остается на поверхности, и высота ртутнаго столба не измѣняется. Чѣмъ ниже температура среды, и чѣмъ менѣе пространство, содержащее паръ, тѣмъ скорѣе мы этого достигнемъ. Изъ этого выходитъ, что въ извѣстномъ объемѣ, при данной температурѣ, можетъ помѣститься только опредѣленное количество пара. Такое состояніе пара называется *насыщеніемъ*, а пространство, въ которомъ онъ находится,—*насыщеннымъ*.

Пары въ ненасыщенномъ состояніи можно считать, по ихъ свойствамъ, газами; они прозрачны, почти всегда безцвѣтны и слѣдуютъ приблизительно законамъ Маріотта [121] и Гэ-Люссака [195], съ тою

*

только разницею, что при сгущеніи пара упругость увеличивается до нѣкотораго предѣла, именно до состоянія насыщенія. Затѣмъ, при дальнѣйшемъ уплотненіи, одна часть пара переходитъ въ жидкое состояніе, а другая сохраняетъ прежнюю упругость.

206. Упругость паровъ воды въ состояніи насыщенія отъ 0^0 до 100^0. Дальтонъ опредѣлялъ упругость паровъ при разныхъ температурахъ въ состояніи насыщенія, измѣряя разность высотъ ртути въ двухъ барометрическихъ трубкахъ A и B (фиг. 281), изъ которыхъ одна B содержала надъ ртутью слой воды, или какой либо другой жидкости. Обѣ трубки погружаютъ во ртуть, налитую въ чугунную чашку M, и окружаютъ стеклянною трубою ab, которая частію также погружена во ртуть и наполнена водою. Чашка M нагрѣвается печью K. Ртуть уступаетъ свою теплоту водѣ, въ которой отъ этого происходятъ восходящія и нисходящія теченія, и температура возвышается. Если есть еще нѣкоторое количество испытуемой жидкости надъ ртутью въ трубкѣ B, то высота ртути быстро уменьшается, а слой жидкости дѣлается тоньше. Это доказываетъ, что съ возвышеніемъ температуры какъ упругость паровъ, такъ и количество ихъ, потребное для насыщенія, увеличиваются, и притомъ гораздо быстрѣе температуры. Температура опредѣляется термометромъ t. Оба барометра A и B, вмѣстѣ со шкалою, поддерживаются станкомъ n.



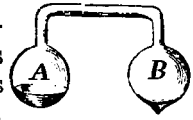
Фиг. 281.

Если прекратить дѣйствіе очага K, то температура воды станетъ понижаться; вмѣстѣ съ тѣмъ, высота барометра B увеличивается, а слой испытуемой жидкости надъ ртутью дѣлается толще. Отсюда выходитъ, что, при охлажденіи пара въ состояніи насыщенія, часть его переходитъ въ жидкость, а упругость уменьшается.

Точка кипѣнія. Для всякой жидкости можно найти такую температуру, при которой разность высотъ ртути въ трубкахъ A и B будетъ равна высотѣ барометра. Въ это мгновеніе, упругость пара, очевидно, равна упругости воздуха. Опытъ показываетъ, что такое явленіе бываетъ при температурѣ кипѣнія испытуемой жидкости: для воды—при 100^0, эфира—при 35^0 и проч. Слѣдовательно, точка кипѣнія отличается отъ другихъ температуръ только тѣмъ, что тогда упругость паровъ жидкости равняется давленію атмосферы. Значитъ, чѣмъ болѣе давленіе на поверхность жидкости, тѣмъ болѣе должна быть упругость

пара, освобождающагося изъ кипящей жидкости, и тѣмъ выше температура, при которой жидкость кипитъ. Обратно, съ уменьшеніемъ давленія, температура кипѣнія должна понизиться. Все это вполнѣ согласно съ опытомъ [178].

Пользуясь тѣмъ же началомъ, можно перегонять жидкости даже при температурѣ ниже нормальной точки кипѣнія. Пусть два шара A и B (фиг. 282), изъ которыхъ одинъ A содержитъ какую нибудь жидкость, напр. воду, соединены трубкой. Нагрѣвая воду въ шарѣ A до кипѣнія, можно выгнать весь воздухъ чрезъ отверстіе, сдѣланное въ шарѣ B; отверстіе потомъ запаиваютъ. Послѣ того, внутренность всего прибора, за исключеніемъ пространства, занятаго водою, будетъ наполнена только парами въ насыщенномъ состояніи, которые, по удаленіи лампы, станутъ, вслѣдствіе охлажденія, переходить въ жидкость; но въ каждое мгновеніе, если температура во всемъ приборѣ одна и та же, упругость паровъ будетъ повсюду одинакова. Чѣмъ температура ниже, тѣмъ будетъ менѣе упругость пара. Если же одинъ изъ шаровъ B холоднѣе другого A, то сдержащійся въ немъ паръ будетъ имѣть меньшую упругость, нежели въ A, потому что часть пара должна обратиться въ жидкость. Тогда паръ изъ шара A перейдетъ въ B, а паръ, оставшійся въ шарѣ A, не будетъ насыщать своего пространства; поэтому, жидкость въ A дастъ новое количество паровъ, которые также перейдутъ въ B и опять обратятся въ воду и т. д. Такимъ образомъ, установится настоящее дистиллированіе; при этомъ упругость паровъ будетъ соотвѣтствовать температурѣ шара B, то есть того шара, который холоднѣе.



Фиг. 282.

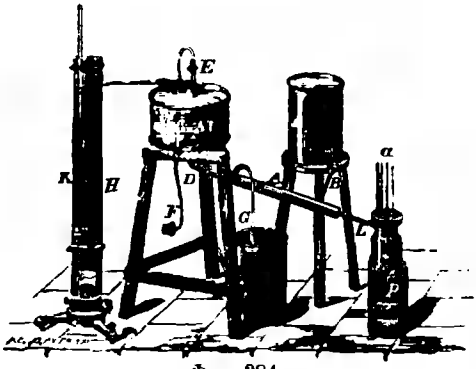
Фиг. 283.

207. Упругость водяныхъ паровъ ниже 0°. Для измѣренія упругости паровъ воды около точки замерзанія, Ге-Люссакъ пользовался двумя барометрами B и A (фиг. 283), опущенными въ одну и ту же чашку h со ртутью. Въ одну барометрическую трубку B вводятъ воду, а согнутый конецъ ея, къ которому припаянъ шарикъ c, погружаютъ въ сосудъ съ охлаждающею смѣсью. Вода съ поверхности ртути въ барометрѣ B обращается въ пары, которые, по мѣрѣ образованія, снова сгущаются въ жидкость въ холодномъ шарикѣ c; при этомъ пары будутъ имѣть упругость, соотвѣтствующую не температурѣ комнаты, а температурѣ охлаждающей смѣси; эта упругость равна разности высотъ ртути въ барометрахъ; температуру опредѣляютъ термометромъ t.

208. Упругость паровъ воды выше 100°. Упругость паровъ жидкости выше точки кипѣнія можно опредѣлять помощію сифона (фиг. 279), наполненнаго ртутью и содержащаго въ закрытомъ колѣнѣ жидкость. Это колѣно погружается въ ванну, которой температура постепенно возвышается. Упругость паровъ во всякій моментъ равна упругости воздуха, сложенной съ разностью высотъ ртути въ обоихъ колѣнахъ сифона.

Опыты Реньо. Реньо основалъ свой способъ на томъ началѣ, что, при

кипѣніи жидкости, упругость ея паровъ равна наружному давленію. Поэтому, измѣривъ давленіе, производимое на поверхность кипящей жидкости, будемъ знать упругость паровъ при точкѣ кипѣнія. Воду или другую жидкость заключаютъ въ котелъ (фиг. 284), нагрѣваемый на очагѣ *P*. Трубка *LD* соединяетъ верхнюю часть котла съ шаромъ *M*, который помощію трубки *EF* можно сообщить съ пневматической машиной, или сгустительнымъ насосомъ. Такимъ образомъ, въ шарѣ, а, слѣдовательно, и въ котлѣ, можно сдѣлать какое угодно давленіе, весьма большое, или весьма малое, измѣряемое ртутнымъ манометромъ *KH* съ открытымъ колѣномъ *K*. Шаръ *M* погруженъ въ холодную воду, чтобы температура его оставалась приблизительно постоянною. Точка кипѣнія опредѣляется 4-мя термометрами *a*, изъ которыхъ два погружены въ воду, а другіе два находятся надъ ея поверхностью. Трубка *LD* окружается муфтой *A*, въ которой безпрестанно перемѣняется холодная вода; она входитъ чрезъ воронку *B*, а вытекаетъ чрезъ трубку *G*. Когда хотятъ производить опытъ, то, сгустивъ или разрѣдивъ воздухъ въ резервуарѣ *M* до опредѣленной степени, разводятъ огонь въ очагѣ *P*. Термометры *a* начинаютъ показывать возвышеніе температуры, пока упругость паровъ воды не сдѣлается равною давленію воздуха на поверхность жидкости. Послѣ этого, вода приходитъ въ кипѣніе; пары подымаются по трубкѣ *LD*, обращаются отъ охлажденія опять въ воду, которая стекаетъ назадъ въ котелъ, такъ что давленіе внутри не увеличивается; вода продолжаетъ кипѣть, и термометры достигаютъ постоянной температуры. Тогда помощію манометра измѣряютъ давленіе на поверхность жидкости; это давленіе равно упругости паровъ. Если упругость воздуха въ шарѣ *M* менѣе одной атмосферы, такъ что ртуть въ колѣнѣ *H* манометра стоитъ выше, чѣмъ въ колѣнѣ *K*, то изъ высоты барометра нужно вычесть разность высотъ ртути въ манометрѣ; когда давленіе болѣе атмосфернаго, то упругость паровъ равна высотѣ барометра, сложенной съ разностью высотъ ртути въ манометрѣ.



Фиг. 284.

Таблица упругости водяныхъ паровъ въ насыщенномъ состояніи (въ миллиметрахъ).

Темп.	Упруг.	Темп.	Упруг.	Темп.	Упруг.	Темп.	Упруг.	Темп.	Упруг.	Темп.	Упруг.
—30°	0m n,365	—5°	3,00	4°	6,10	12°	10,5	20°	17,4	40	54,9
—25	0,553	—4	3,27	5	6,53	13	11,2	21	18,5	45	71,4
—20	0,841	—3	3,55	6	7,00	14	11,9	22	19,7	50	92,0
—15	1,28	—2	3,88	7	7,49	15	12,7	23	20,9	70	233
—10	1,96	—1	4,22	8	8,02	16	13,5	24	22,2	100	760
— 9	2,14	—0	4,60	9	8,57	17	14,4	25	23,6	150	3572
— 8	2,33	1	4,94	10	9,17	18	15,4	30	31,5	200	11660
— 7	2,53	2	5,30	11	9,79	19	16,3	35	41,8	230	20915
— 6	2,76	3	5,69								

Изъ этой таблицы видимъ, что упругость паровъ возрастаетъ гораздо быстрѣе температуры; такъ, при измѣненіи температуры на 5^0 отъ 35^0 до 40^0, упругость паровъ увеличивается на 13^{mm}, 1, между тѣмъ какъ отъ 45^0 до 50—на 20^{mm}, 6.

Ниже прилагается таблица упругости паровъ нѣкоторыхъ жидкостей для сравненія съ упругостью водяныхъ паровъ.

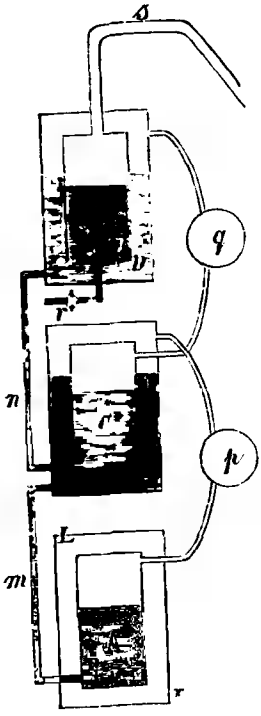
Температура.	Ртуть.	Алкоголь.	Сѣрный эфиръ.	Сѣрнистый ангидридъ.
—20°	»	3^{mm},3	67^{mm},4	475^{mm},5
0	0^{mm},020	12,8	183,3	1165
20	0,037	44,5	433,3	2462
60	0,164	350	1729	»
100	0,764	1695	4951	»
150	4,27	7259	»	»
350	663	»	»	»
520	8264	»	»	»

209. Ожиженіе газовъ. Если нагрѣть пары, насыщающіе свое пространство, или увеличить ихъ объемъ, то они перестаютъ насыщать пространство и въ этомъ состояніи ничѣмъ не отличаются отъ газовъ [205]. Обратно, если охлаждать какой бы то ни было газъ и сокращать занимаемый имъ объемъ, то газъ можетъ быть доведенъ до состоянія насыщенія, подобно парамъ. При дальнѣйшемъ охлажденіи, или сгущеніи, часть газа переходитъ въ жидкое состояніе. Получаемыя при этомъ жидкости невозможны при обыкновенныхъ условіяхъ, наприм. комнатной температурѣ и нормальномъ давленіи: онѣ приходятъ въ кипѣніе и обращаются въ тотъ газъ, изъ котораго были получены. Такимъ образомъ, между парами и газами нѣтъ существенной разницы; они отличаются между собою только температурами и давленіями, при которыхъ достигаютъ состоянія насыщенія и переходятъ въ капельное состояніе. Такъ, угольный ангидридъ при 36 атмосферахъ и 0^0 переходитъ въ жидкость, закись азота при 30 атмосферахъ и 0^0, сѣрнистый ангидридъ—при—10^0 и подъ обыкновеннымъ давленіемъ. хлоръ—при 5 атмосферахъ и обыкновенной температурѣ, окись азота при 104 атмосф. и—11^0, кислородъ при 252 атмосф. и—140^0, водородъ при 650 атмосф. и—140^0 и проч.—Такъ какъ съ увеличеніемъ давленія точка кипѣнія повышается, то для ожиженія газа требуется тѣмъ большее давленіе, чѣмъ температура выше.

Полагаютъ, что каждому газу соотвѣтствуетъ температура, выше которой никакими давленіями этотъ газъ нельзя обратить въ жидкость; такую темпе-

ратуру принято называть *критическою*. Этотъ терминъ означаетъ, очевидно, то же самое, что и абсолютная точка кипѣнія [185].

210. Наибольшій искусственный холодъ. Наибольшее охлажденіе производится чрезъ испареніе летучихъ жидкостей. Такъ, испареніемъ сѣрнаго эфира можно заморозить воду. Жидкій угольный ангидридъ, выпускаемый чрезъ кранъ изъ сосуда, сильно испаряется; при этомъ такъ много поглощается теплорода, что часть жидкости переходитъ въ твердое состояніе. Въ этомъ видѣ угольный ангидридъ представляетъ бѣлоснѣжную массу; термометръ, въ него опущенный, показываетъ около—80°.



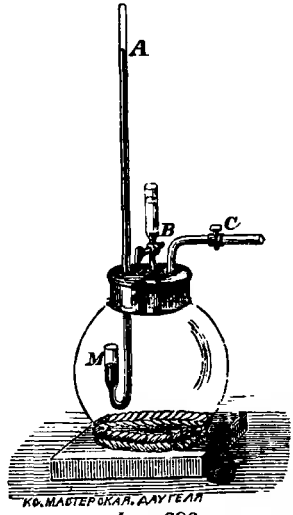
Фиг. 285.

Наибольшій искусственный холодъ полученъ Пиктé. Фиг. 285 представляетъ схематическое изображеніе весьма сложнаго снаряда Пиктé. Помощію нагнетательнаго насоса p сгущаютъ сѣрнистый ангидридъ или закись азота въ сосудѣ A; чтобы удалять освобождающуюся при сгущеніи газа теплоту, сосудъ A вставляютъ въ другой LL, чрезъ который пробѣгаетъ вода. Жидкій сѣрнистый ангидридъ, находясь подъ сильнымъ давленіемъ, переливается по трубкѣ m въ сосудъ B, гдѣ онъ испаряется. Образующійся газъ въ верхней части сосуда B выкачивается насосомъ p назадъ въ сосудъ A. Температура сосуда B понижается до—65°. Внутри сосуда B помѣщенъ сосудъ C, въ который другимъ насосомъ q накачиваютъ угольный ангидридъ. Низкая температура сосуда B даетъ возможность обратить этотъ газъ въ жидкость только при 5 атмосферахъ. Отсюда жидкость переходитъ по трубкѣ n въ сосудъ D, гдѣ она испаряется. Образующійся газъ выкачивается назадъ въ сосудъ C насосомъ q. Насосы приводятся въ движеніе паровой машиной. По прошествіи нѣсколькихъ часовъ, температура сосуда D понижается до—140°. Только благодаря такой низкой температурѣ, Пикте удалось обратить въ жидкость кислородъ, водородъ и другіе газы, считавшіеся постоянными. Ожиженіе совершалось въ сосудѣ E, соединенномъ трубкою s съ ретортой, въ которой выдѣлялся газъ, вслѣдствіе химической реакціи; кислородъ, наприм., получали чрезъ на грѣваніе хлорноватокаліевой соли. Освобождаясь въ закрытомъ пространствѣ, газъ достигаетъ большой упругости, которую не могутъ дать нагнетательные насосы, и охлаждаемый въ сосудѣ E, переходитъ въ жидкое состояніе.

211. Испареніе жидкостей въ газахъ. Законъ Дальтона. Если въ запертомъ со всѣхъ сторонъ пространствѣ, наполненномъ какимъ нибудь газомъ, помѣстить сосудъ съ водою, то, спустя большій или меньшій промежутокъ времени, пары, отдѣляясь мало по малу изъ жид-

кости, достигаютъ, наконецъ, состоянія насыщенія. Дальтонъ нашелъ, что, *для насыщенія какого либо пространства, нужно одно и то же количество водяныхъ паровъ, будетъ ли это пространство пустое, или наполнено какимъ нибудь газомъ*; вся разность заключается только въ томъ, что въ пустотѣ пары почти мгновенно достигаютъ состоянія насыщенія, а въ газѣ — спустя нѣкоторое время, иногда довольно продолжительное.

Дальтонъ производилъ свои опыты съ слѣдующимъ приборомъ. Большой стеклянный шаръ (фиг. 286) закрытъ металлической оправой съ тремя отверстіями, въ которыя вдѣланы: трубка *C* съ краномъ, сообщающая шаръ съ воздушнымъ насосомъ, сифонный барометръ *AM* и воронка *B*, запираемая краномъ и содержащая испытуемую жидкость. Если разрѣдимъ воздухъ въ шарѣ, то ртуть изъ барометрической трубки большею частію вытечетъ въ широкое колѣно сифона *M*, а разность ея высотъ выразитъ упругость оставшагося газа. Тогда запираютъ кранъ *C* и отпираютъ на короткое время кранъ *B*, чтобы нѣсколько жидкости, содержащейся въ воронкѣ, вытекло въ шаръ. Жидкость скоро обратится въ пары, которые примѣшиваются къ воздуху и увеличиваютъ его упругость. Общая упругость смѣси будетъ равна разности высотъ ртути въ обоихъ колѣнахъ сифона; вычитая изъ нея упругость одного воздуха, получимъ упругость пара. Подобнымъ же образомъ можно произвести опытъ при разныхъ давленіяхъ воздуха и при разныхъ температурахъ, для чего шаръ погружаютъ въ воду, которой температуру постепенно возвышаютъ. Во всякомъ случаѣ, упругость смѣси изъ газа и пара въ насыщенномъ состояніи, по наблюденію Дальтона, равняется суммѣ ихъ упругостей. Реньо, повѣрявшій изслѣдованія Дальтона болѣе совершенными пріемами, нашелъ, что приведенный выше законъ не вполнѣ точенъ, но что упругость паровъ воды въ пустотѣ нѣсколько болѣе, нежели въ газахъ; впрочемъ, разности столь малы, что при вычисленіяхъ посредственной точности могутъ быть пренебрегаемы. Въ отношеніи сѣроуглерода, бензина и особенно сѣрнаго эфира, законъ Дальтона не имѣетъ мѣста: упругость паровъ этихъ жидкостей въ пустотѣ болѣе, нежели въ воздухѣ. То же самое свойство, вѣроятно, принадлежитъ всѣмъ вообще легко испаряющимся жидкостямъ. Законъ Дальтона еще менѣе приложимъ къ смѣшенію между собою паровъ разныхъ жидкостей: упругость смѣси бываетъ даже иногда менѣе упругости паровъ наиболѣе испаряющагося вещества.



Фиг. 286.

212. Плотность паровъ. До сихъ поръ нѣтъ достаточно точнаго пріема для опредѣленія плотности паровъ въ состояніи насыщенія. По способу, принадлежащему Дюма, находятъ вѣсъ пара, наполняющаго шаръ, и дѣлятъ на вѣсъ воздуха, взятаго въ томъ же объемѣ. Съ этою цѣлью приготовляютъ

оболочку *B* (фиг. 287) съ оттянутымъ въ тонкую трубку горломъ; опредѣляютъ ея вмѣстимость и вѣсъ и вводятъ внутрь вещество, плотность паровъ котораго хотятъ найти. Потомъ оболочку утверждаютъ между кольцами, прикрѣпленными къ стержню *C*, который передвигается по стойкѣ *D*, и опускаютъ въ ванну *A*, нагрѣваемую на очагѣ и состоящую изъ какой либо жидкости: воднаго раствора поваренной соли, масла, или металлическаго сплава, смотря по температурѣ, которая необходима для обращенія въ пары вещества, введеннаго въ оболочку *B*. Пары, образующіеся въ оболочкѣ, вытѣсняютъ воздухъ и съ шумомъ выходятъ наружу, являясь у отверстія горла въ видѣ облачка. Когда это облачко исчезнетъ, то оболочка не будетъ болѣе заключать ни воздуха, ни введеннаго вещества твердаго или жидкаго, а только одни пары. Въ это мгновеніе запаиваютъ отверстіе и замѣчаютъ температуру ванны по термометру *E*. Затѣмъ оболочку *B* изъ ванны вынимаютъ, даютъ простыть и взвѣшиваютъ. Зная, кромѣ того, вѣсъ оболочки *B*, пустой и съ воздухомъ, можно опредѣлить плотность пара.

Изъ такихъ и подобныхъизысканій оказалось, что плотность водяного пара, въ состояніи насыщенія, относительно воздуха, при одинаковыхъ давленіи и температурѣ, равна приблизительно $\frac{5}{8}$. Впрочемъ это отношеніе непостоянно, но съ возвышеніемъ температуры увеличивается; такъ, при 13° оно равно 0,616, а при 44°—0,652.

Ниже прилагается таблица плотности паровъ разныхъ жидкостей.

ВЕЩЕСТВА.	ПЛОТНОСТЬ.	ВЕЩЕСТВА.	ПЛОТНОСТЬ.
Воздухъ.	1,000	Сѣроуглеродъ.	2,645
Вода	0,624	Терпентинъ.	5,013
Алкоголь	1,614	Ртуть	6,976
Сѣрный эфиръ.	2,586	Іодъ	8,716

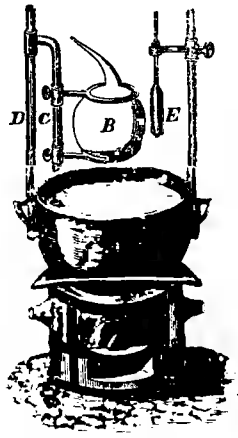
Влажность.

213. Влажность. Воздухъ, кромѣ кислорода и азота, содержитъ между прочимъ пары воды, но почти никогда не бываетъ ими насыщенъ. Отношеніе количества находящагося въ воздухѣ пара къ тому количеству пара, которое необходимо для насыщенія, называется *влажностью*. Если наприм. въ нѣкоторомъ объемѣ воздуха содержится 2 фунта воды въ парообразномъ состояніи, а можетъ быть при данной температурѣ 3 фунта, то влажность равна $^2/_3$. Опытъ показалъ, что при одинаковыхъ объемахъ количество пара приблизительно пропорціонально его упругости, а потому можно сказать, что влажность есть отношеніе упругости пара существующаго къ той упругости, которую долженъ имѣть паръ въ состояніи насыщенія. Изъ понятія о влажности слѣдуетъ, что она не можетъ быть болѣе 1 и, слѣдовательно, есть правильная дробь; чтобы не разсматривать дробей, влажность умножаютъ на 100. Пусть наприм.

при температурѣ 15° упругость паровъ была 8^{mm}, 4; въ таблицѣ упругости паровъ воды [208] противъ 15° читаемъ число 12^{mm}, 7; раздѣляя 8,4 на 12,7 и умножая частное на 100, находимъ 66; это и есть влажность; она означаетъ, что въ воздухѣ находится 66% или 66 сотыхъ того количества пара, которое необходимо для насыщенія.

Влажность при возвышеніи температуры уменьшается, потому что тогда знаменатель дроби, изображающей влажность, увеличивается, между тѣмъ какъ числитель остается постояннымъ; дѣйствительно, еслибы въ предыдущемъ примѣрѣ температура была напр. 20°, то нашли бы для влажности число 40. Изъ этого выходитъ, что величина влажности зависитъ не отъ одного количества паровъ, но и отъ температуры: влажность можетъ быть велика, хотя бы паровъ было мало, если только температура достаточно низка; обратно, какъ бы ни было много паровъ, влажность можно сдѣлать весьма малою, возвышая температуру.

Въ физикѣ словомъ влажность обозначаютъ нѣсколько иное понятіе, чѣмъ въ общежитіи. Обыкновенно влажностью или сыростью называютъ такое состояніе атмосферы, когда она легко уступаетъ часть содержащейся въ ней воды разнымъ предметамъ: тканямъ, дереву, бумагѣ и проч., и вообще тѣламъ *гигроскопическимъ*; этимъ именемъ обозначаются тѣла, которыя имѣютъ свойство притягивать изъ воздуха пары и, переводя ихъ въ жидкое состояніе, скоплять въ своихъ скважинахъ. Понятію влажность противополагаютъ сухость или способность атмосферы отнимать отъ гигроскопическихъ тѣлъ воду въ большемъ или меньшемъ количествѣ. Чѣмъ пары ближе къ состоянію насыщенія, тѣмъ менѣе стремленіе воды испаряться, и тѣмъ болѣе ея накопляется въ скважинахъ гигроскопическаго тѣла, которое поэтому становится влажнѣе или сырѣе. Напротивъ, когда пары далеки отъ состоянія насыщенія, то гигроскопическія тѣла легко уступаютъ большую часть своей влаги воздуху и дѣлаются суще.



Фиг. 287.

Гигроскопическія тѣла, напитываясь водою, увеличиваются въ объемѣ, а при высыханіи сжимаются. Если смочить сухую веревку, слабо натянутую между двумя неподвижными точками, то она дѣлается толще, укорачивается и натягивается. Дерево при высыханіи растрескивается. Лодка, находясь внѣ воды на берегу, разсыхается, т. е. между досками, изъ которыхъ она сдѣлана, являются щели, и, при спусканіи на воду, даетъ течь. То же бываетъ съ кадками и бочками, когда онѣ долго стоятъ безъ воды.

Когда хотятъ высушить влажную вещь, то ее кладутъ въ теплое мѣсто, гдѣ, по причинѣ болѣе высокой температуры, влажность бываетъ меньше; отъ этого, вода быстро испаряется, и вещь высыхаетъ.

Наше тѣло и особенно легкія весьма гигроскопичны; по этой причинѣ, отъ влажности воздуха прямо зависитъ количество отдѣляющихся отъ насъ паровъ, а это оказываетъ вліяніе на наше здоровье. Найдено, что лѣтній воздухъ, котораго влажность заключается между 60 и 70, есть самый благопріятный для нашего организма.

214. Величина влажности внѣшняго и комнатнаго воздуха. Количество паровъ въ продолженіе года и разное время дня бываетъ весьма различно. Вообще замѣчено, что въ атмосферѣ тѣмъ больше паровъ, чѣмъ выше температура; слѣдовательно, наибольшее количество паровъ соотвѣтствуетъ лѣтнему времени и дню, наименьшее— зимнему и ночи. Влажность имѣетъ обратный порядокъ. Самый сухой воздухъ бываетъ лѣтомъ и днемъ; напротивъ, зимою, особенно во время сильныхъ морозовъ, воздухъ почти насыщенъ парами. Причина понятна: хотя въ теплое время много паровъ въ воздухѣ, но ихъ и требуется много для насыщенія пространства, а потому влажность бываетъ мала; напротивъ, при низкой температурѣ достаточно небольшого количества паровъ, чтобы произвести насыщеніе.

Лѣтомъ воздухъ нашихъ жилищъ почти одинаковъ съ внѣшнимъ, но зимою въ комнатахъ, отапливаемыхъ печами, онъ обыкновенно весьма сухъ. Это явленіе легко объяснить. Пусть наружный воздухъ имѣетъ температуру—20°, а комнатный 20°. При топленіи печи, внутренній воздухъ чрезъ трубу выходитъ наружу, а внѣшній чрезъ скважины и отверстія въ дверяхъ и рамахъ входитъ въ комнату [196]; здѣсь онъ нагрѣвается и, хотя бы былъ прежде насыщенъ парами, дѣлается весьма сухъ. Чтобы опредѣлить его влажность, должно раздѣлить упругость паровъ, соотвѣтствующую—20°, то есть 0^{mm}, 841, на упругость при 20°, то есть 17^{mm}, 4, и увеличить частное въ 100 разъ, отъ чего получимъ 5. Мы предположили, что внѣшній воздухъ насыщенъ парами; очевидно, въ случаѣ ненасыщенія, влажность въ комнатѣ была бы еще менѣе. Правда, испаренія отъ разныхъ тѣлъ и дыханіе, а также и то обстоятельство, что не весь комнатный воздухъ выносится въ трубу, увеличиваютъ нѣсколько влажность, но все таки воздухъ бываетъ довольно сухъ. Сухостью комнатнаго воздуха объясняется, почему зимою лопается мебель. Дерево есть тѣло гигроскопическое, но не въ одинаковой степени во всѣхъ частяхъ; если напр. одна сторона деревянной доски высыхаетъ быстрѣе другой, то она и сжимается болѣе; отъ этого, доска коробится и нерѣдко трескается.

215. Гигрометры. Влажность имѣетъ весьма важное значеніе относительно всѣхъ органическихъ существъ. Она также имѣетъ прямую связь съ появленіемъ водяныхъ метеоровъ: дождя, снѣга, тумана и проч. Вотъ почему приборы, точно измѣряющіе влажность, столь же необходимы, какъ термометръ и барометръ; они называются *гигрометрами*. Есть еще снаряды, показывающіе только измѣненіе влажности; они извѣстны подъ именемъ *гигроскоповъ*.

Лучшій гигрометръ изобрѣтенъ Реньо; онъ основанъ на опредѣленіи той температуры, при которой водяные пары, находящіеся въ воздухѣ, были бы въ состояніи насыщенія.

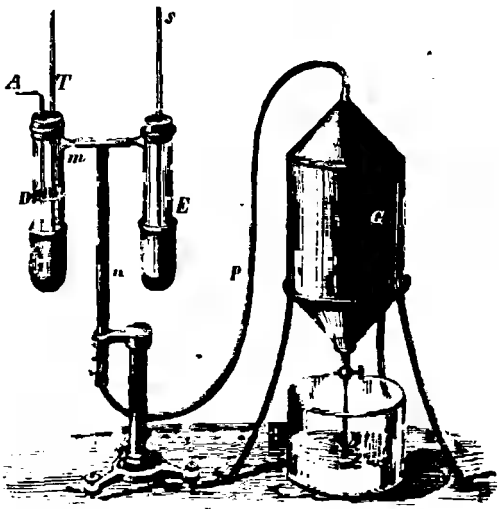
Для объясненія сказаннаго, вообразимъ стаканъ съ водою, въ которую опущены термометръ и кусокъ льду; по мѣрѣ таянія льда, температура воды понижается, а вмѣстѣ съ тѣмъ охлаждается, прилегающій снаружи къ стѣнкамъ стакана, тонкій слой воздуха, такъ что, наконецъ, заключающіеся въ этомъ слоѣ водяные пары достигаютъ состоянія насыщенія; тогда часть ихъ переходитъ въ жидкое состояніе, и на внѣшней поверхности стакана является *роса*, т. е. вода въ видѣ мелкихъ капель. Термометръ, опущенный въ стаканъ, приблизительно даетъ *точку росы* или температуру, при которой находящійся въ воздухѣ паръ насыщаетъ пространство. Пусть точка росы 10^0; въ таблицѣ упругости паровъ воды противъ этого числа находимъ 9^{mm}, 17; это и есть упругость существующихъ паровъ. Если въ то же время температура воздуха была 15^0, то, раздѣливъ число 9^{mm}, 17 на упругость при 15^0 или на 12^{mm}, 7 и умноживъ частное на 100, найдемъ 72,2, что и составитъ искомую влажность.

Такимъ пріемомъ нельзя точно опредѣлить точку росы, потому что охлажденіе воды не тотчасъ передается ртути термометра и воздуху на внѣшнюю поверхность стакана, по причинѣ худой теплопроводности стекла. Кромѣ того самая вода не будетъ имѣть вездѣ одной и той же температуры. Эти недостатки значительно ослаблены въ гигрометрѣ Даніеля и совершенно уничтожены у Реньо.

Гигрометръ Даніеля. Гигрометръ Даніеля состоитъ изъ двухъ стеклянныхъ полыхъ шаровъ A и B (Фиг. 288), соединенныхъ стеклянной трубкой. Чрезъ отверстіе, въ нижней части шара B вводятъ въ шаръ A сѣрный эфиръ и, чтобы вытѣснить воздухъ изъ прибора, приводятъ эфиръ въ кипѣніе; тогда на лампѣ отверстіе запаиваютъ. Послѣ этого, приборъ будетъ содержать только жидкій эфиръ и его пары. Наблюденіе производятъ такъ. Переливаютъ всю жидкость въ шарикъ A, а другой B покрываютъ кисеею, которую смачиваютъ сѣрнымъ эфиромъ. Отъ испаренія сѣрнаго эфира съ кисеи, шарикъ B охладится, и жидкость будетъ перегоняться изъ шарика A въ шарикъ B [206]. Шарикъ A, отъ постояннаго отдѣленія паровъ съ поверхности сѣрнаго эфира,

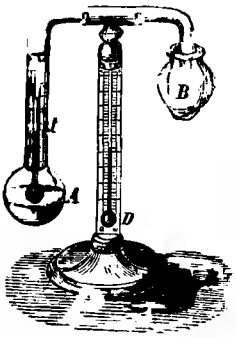
охлаждается, и, наконецъ, на внѣшней его поверхности появляются капли воды. Этотъ шарикъ покрывается позолотою, въ которой отражаются наиболѣе освѣщенные предметы, напр. окно; тогда легко замѣтить первые признаки осажденія водяныхъ паровъ изъ воздуха, что обнаруживается мгновеннымъ потемнѣніемъ изображеній. Точка росы опредѣляется термометромъ t, помѣщеннымъ внутри прибора, и котораго шарикъ на половину погружаютъ въ сѣрный эфиръ, потому что охлажденіе происходитъ только на поверхности жидкости. Температура среды опредѣляется термометромъ D, утвержденнымъ на подставкѣ прибора. Точка росы не можетъ быть опредѣлена въ гигрометрѣ Даніеля съ достаточною точностью, потому что, вслѣдствіе худой теплопроводности стекла, охлажденіе, производимое испареніемъ сѣрнаго эфира, передается ртути термометра и наружному воздуху не тотчасъ, но спустя большій или меньшій промежутокъ времени, смотря по толщинѣ стѣнокъ оболочки термометра t и шара A, такъ что ртуть термометра будетъ имѣть другую температуру, нежели прилегающій къ шару воздухъ; обыкновенно термометръ показываетъ температуру менѣе надлежащей, потому что его стѣнки тоньше стѣнокъ шара A. Наконецъ, самъ наблюдатель, своимъ дыханіемъ вблизи прибора, значительно измѣняетъ дѣйствительную влажность среды.

216. Гигрометръ Реньо. Главная часть гигрометра Реньо есть сосудъ D (фиг. 289), котораго нижняя часть сдѣлана изъ тонкаго серебрянаго или мѣднаго посеребренаго листа, а верхняя—изъ стекла; сосудъ заключаетъ сѣрный эфиръ и запирается пробкой, чрезъ которую проходятъ: тонкая стеклянная трубка A, погруженная въ эфиръ почти до дна, и термометръ T. Верхняя часть сосуда сообщается съ другимъ G, который называется *аспираторомъ*,—помощію короткой трубки m, канала, сдѣланнаго въ подставкѣ n, и каучуковой трубки p. Сосудъ G наполненъ водою, которую во время наблюденій выпускаютъ чрезъ кранъ; на мѣсто вытекшей жидкости, въ аспираторъ выходитъ воздухъ изъ сосуда D; отъ этого, давленіе на поверхность эфира уменьшается; внѣшній воздухъ беретъ перевѣсъ, входитъ въ сосудъ D чрезъ трубку A и приводитъ въ волненіе сѣрный эфиръ; пузырьки воздуха, проникая чрезъ массу жидкости, ускоряютъ ея испареніе и, слѣдовательно, поглощеніе тепла. Наконецъ, приборъ охлаждается до такой



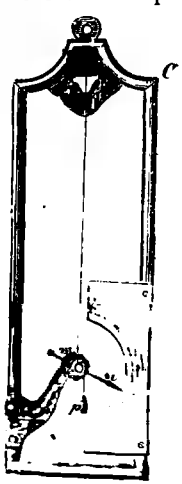
Фиг. 289.

степени, что на блестящей серебряной поверхности его появляются капли воды. Точка росы наблюдается на термометрѣ T, а температура воздуха на термометрѣ s, заключенномъ въ сосудъ E, подобный D. Упомянутыя выше ошибки [215] здѣсь устраняются во первыхъ тѣмъ, что серебро пропускаетъ легко чрезъ себя теплоту, а потому сѣрный эфиръ будетъ имѣть температуру одинаковую съ воздухомъ; вовторыхъ, когда появятся первые признаки росы, кранъ аспиратора немного или совсѣмъ запираютъ, и роса пропадаетъ; потомъ снова отпираютъ кранъ, и роса вскорѣ опять появляется, а термометръ T показываетъ уже менѣе прежняго. Такое дѣйствіе повторяютъ нѣсколько разъ, пока термометръ T не будетъ давать при появленіи росы постоянно одну и туже температуру. Въ это мгновеніе ртуть термометра и слой воздуха, прилегающій къ наружнымъ стѣнкамъ серебрянаго сосуда, имѣютъ одинаковыя температуры. Неточность, происходящая отъ дыханія наблюдателя, избѣгается тѣмъ, что за появленіемъ росы и ходомъ термометровъ слѣдятъ издали, при помощи зрительной трубы.



Фиг. 288.

217. Гигроскопъ Соссюра. Гигроскопъ Соссюра, показывающій только измѣненіе влажности, основанъ на томъ, что человѣческій волосъ, втягивая въ себя пары воды, удлиняется; напротивъ, освобождая ихъ, укорачивается. Чтобы волосъ былъ по возможности болѣе чувствителенъ къ влажности, должно выдѣлить изъ него жирныя вещества, погружая въ какую нибудь щелочь, или сѣрный эфиръ, въ которыхъ эти вещества растворяются. Обработанный такимъ образомъ, волосъ прикрѣпляютъ однимъ концемъ въ точкѣ A (фиг. 290) къ деревянной или металлической рамкѣ BC, обводятъ около блока m и прикрѣпляютъ къ другому концу его гирьку p; съ блокомъ соединена неподвижно стрѣлка n, двигающаяся по дугѣ. Когда волосъ удлиняется, то гирька опускается, и стрѣлка двигается по дугѣ сверху внизъ; при укорачиваніи волоса, стрѣлка двигается въ противоположную сторону. Чтобы обозначить на дугѣ дѣленія, приборъ помѣщаютъ сначала подъ стеклянный колоколъ, куда кладутъ куски хлористаго кальція — вещества, которое имѣетъ свойство поглощать пары воды и, вслѣдствіе того, осушаетъ воздухъ. По мѣрѣ поглощенія паровъ, волосъ высыхаетъ и укорачивается до наибольшей степени; въ томъ мѣстѣ, гдѣ стрѣлка остановится, пишутъ 0. Потомъ приборъ опять покрываютъ стеклянным колоколомъ, стѣнки котораго обрызгиваютъ внутри водою; воздухъ постепенно напитывается парами, волосъ удлиняется, и стрѣлка двигается по дугѣ до тѣхъ поръ, пока пары не насытятъ пространства. Ту точку дуги, на которую тогда будетъ указывать стрѣлка, отмѣчаютъ цифрою 100; пространство между двумя найденными точками дѣлятъ на 100 равныхъ частей.



Фиг. 290.

Пусть изготовленный такимъ образомъ снарядъ помѣщенъ въ комнатномъ воздухѣ, и пусть стрѣлка *n* остановилась на дѣленіи 40. Если бы расширеніе волоса было пропорціонально влажности, то число 40 означало бы непосредственно влажность, какъ и думалъ самъ изобрѣтатель, считая свой приборъ настоящимъ гигрометромъ. Но на самомъ дѣлѣ это несправедливо: при увеличеніи влажности волосъ сначала расширяется очень быстро, а потомъ медленнѣе; отъ этого приборъ показываетъ болѣе влажности, нежели это бываетъ въ дѣйствительности.

Ге-Люссакъ и потомъ Реньо пытались составить таблицу поправокъ, по которой можно было бы узнавать истинную влажность по наблюденной; но послѣдній наблюдатель доказалъ, что такая таблица различна для каждаго волоса и измѣняется съ теченіемъ времени, а это очевидно дѣлаетъ приборъ Соссюра, какъ гигрометръ, совершенно негоднымъ для употребленія.

Есть еще гигроскопы другого рода, часто имѣющіе видъ человѣческихъ фигуръ, покрывающихся капишономъ при увеличеніи влажности и открывающихся при уменьшеніи ея; они основаны на свойствѣ кишечныхъ струнъ раскручиваться при увеличеніи влажности и закручиваться при ея уменьшеніи. Эти приборы еще менѣе точны, чѣмъ гигроскопъ Соссюра.

218. Самый надежный способъ измѣренія влажности, помощію котораго повѣряется доброкачественность всякихъ гигрометровъ, есть способъ химическій. Сущность его заключается въ слѣдующемъ. Аспираторъ, наполненный водою, соединяютъ съ нѣсколькими трубками, содержащими осушающее вещество, наприм. хлористый кальцій. Изъ аспиратора воду выпускаютъ. Воздухъ проходитъ въ аспираторъ чрезъ рядъ трубокъ, въ которыхъ теряетъ свою влагу. Трубки съ хлористымъ кальціемъ надо взвѣсить два раза: до пропусканія чрезъ нихъ воздуха и послѣ пропусканія *). Увеличеніе ихъ вѣса покажетъ вѣсъ водяного пара, содержащагося въ объемѣ воздуха, равномъ объему аспиратора. Отсюда легко опредѣлить плотность пара и, наконецъ, влажность.

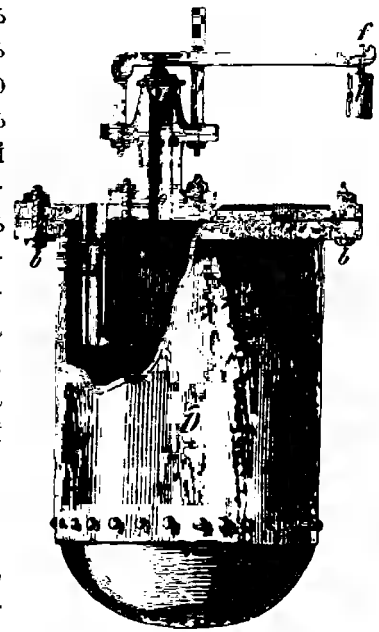
Приложеніе упругости паровъ.

219. Котелъ Папина. Температура жидкости, кипящей въ открытомъ сверху котлѣ, остается во все время кипѣнія постоянною [177]. Когда же котелъ закрытъ плотно крышкой, то кипѣнія не будетъ, какъ бы ни была высока температура, потому что освобождающійся изъ жидкости паръ скопляется въ верхней части котла и производитъ все большее и большее давленіе. Такимъ образомъ, температуру жидкости и упругость ея паровъ можно увеличить до произвольной степени, если только стѣнки котла достаточно прочны.

Котелъ *Папина*, названный такъ по имени изобрѣтателя, основанъ на этомъ началѣ. Онъ состоитъ изъ металлическаго, съ толстыми стѣн-

*) Первую трубку, соединенную съ аспираторомъ, для устраненія всякаго сомнѣнія, лучше не взвѣшивать, такъ какъ въ нее могутъ попасть водяные пары изъ аспиратора.

ками, котла D (фиг. 291), въ который наливаютъ воды и потомъ закрываютъ крышкой. Послѣднюю прикрѣпляютъ, посредствомъ винтовъ b, къ котлу. Потомъ приборъ ставятъ на сильный огонь. Образующіеся при этомъ пары давятъ на поверхность воды и останавливаютъ кипѣніе. Упругость паровъ возрастаетъ и, наконецъ, можетъ сдѣлаться столь большою, что котелъ разорвется. Это предотвращается предохранительнымъ клапаномъ или металлической пробкой k, которая запираетъ отверстіе O, сдѣланное въ крышкѣ; на пробку налегаетъ рычагъ второго рода cf, котораго точка опоры въ c, а на длинномъ плечѣ привѣшена гиря p. Когда упругость пара возрастетъ далѣе извѣстнаго предѣла, пробка приподымется, и излишекъ пара выйдетъ. Температура воды въ каждый моментъ опредѣляется термометромъ, опущеннымъ въ ртуть, налитую въ металлическую трубку t, которую вдѣлываютъ въ крышку котла. Температура воды въ папиновомъ котлѣ можетъ сдѣлаться столь высокою, что въ ней можетъ плавиться свинецъ и олово, легко развариваются овощи, извлекается бульонъ изъ костей и проч.



Фиг. 291.

Давленіе паровъ на стѣнки котла быстро возрастаетъ при возвышеніи температуры, какъ это видно изъ таблицы упругости водяныхъ паровъ [208]. При 200° упругость равна 11660^{mm}; такъ какъ воздухъ при упругости въ 760^{mm} или приблизительно въ 30 дюймовъ давитъ на площадь одного квадратнаго дюйма съ силою 16,1 фунт. [120], то паръ при 200° произведетъ на ту же площадь давленіе во столько разъ большее, во сколько 11660 болѣе 760, или 247 фунтовъ. Вообще, давленіе пара на единицу площади равно вѣсу ртутнаго столба, измѣряющаго упругость пара и опирающагося на эту же площадь.

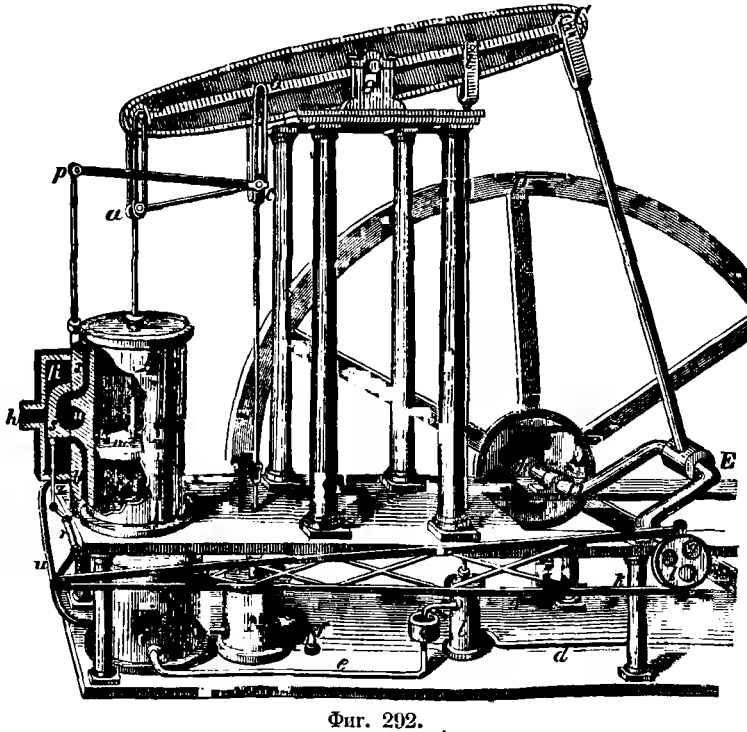
Сила упругости паровъ была извѣстна еще въ глубокой древности; поэтому, съ давнихъ поръ старались придумать машины, которыя бы приводились въ движеніе парами.

Первый рѣшилъ эту задачу Папинъ около 200 лѣтъ тому назадъ, но его паровая машина не имѣла однакоже практическаго примѣненія. Счастливѣе Папина былъ англійскій работникъ Ньюкоменъ, который,

пользуясь идеями перваго, успѣлъ устроить машину, долго употреблявшуюся въ рудникахъ для выкачиванія воды. Главный ея недостатокъ есть огромное потребленіе топлива. Наконецъ, шотландцу Уату, назадъ тому 100 лѣтъ, удалось устранить этотъ недостатокъ и вообще сообщить машинѣ бо́льшую примѣнимость. Съ тѣхъ поръ паровыя машины начали входить во всеобщее употребленіе.

220. Машина Уата. Существенныя части машины Уата суть: *паровой цилиндръ, золотникъ* и *холодильникъ*.

A (фиг. 292) представляетъ паровой цилиндръ, въ полости котораго ходитъ поршень *m*, попеременно подымаемый и опускаемый силою паровъ (на фигурѣ, для ясности, въ стѣнкѣ парового цилиндра сдѣлана вырѣзка, которой въ дѣйствительности, конечно, нѣтъ); съ поршнемъ



Фиг. 292.

соединено, посредствомъ стержня, *коромысло BC*, принимающее отъ поршня колебательное движеніе около оси *O*. Отъ колебанія коромысла понижается или повышается *шатунъ CE*, вращающій *мотылъ* или *кривошипъ ED* и соединенныя съ нимъ: ось *gg* и *маховое колесо P*. Изъ кипящей воды, нагрѣваемой въ закрытомъ котлѣ, подымается паръ и идетъ по трубкѣ *h* въ *паровую коробку R*; отсюда онъ можетъ войти

въ паровой цилиндръ по одному изъ двухъ каналовъ: x и y; когда одинъ изъ каналовъ, наприм. y, сообщаетъ паровую коробку съ цилиндромъ, то другой каналъ x запертъ *золотникомъ* S. Золотникъ есть толстая пластинка, которая имѣетъ съ одной стороны углубленіе, сообщенное, посредствомъ одного изъ тѣхъ же каналовъ x и y, съ паровымъ цилиндромъ и, при помощи трубки uu, съ закрытымъ сосудомъ Q, называемымъ *холодильникомъ*. Золотникъ можно передвигать по вертикальному направленію помощію прута z. Въ холодильникѣ находится холодная вода, а потому упругость пара здѣсь весьма мала. Предположимъ, что атмосфернаго воздуха нѣтъ ни въ холодильникѣ, ни въ паровомъ цилиндрѣ, ни въ частяхъ, ихъ соединяющихъ, и пусть по обѣ стороны поршня находится паръ, а золотникъ стоитъ въ положеніи, показанномъ на фигурѣ; тогда паръ изъ верхней части парового цилиндра, не встрѣчая сопротивленія къ расширенію, перейдетъ по каналу x, углубленію золотника и трубкѣ uu въ холодильникъ, гдѣ и сгустится въ воду. Такимъ образомъ, надъ поршнемъ будетъ пустота, или, точнѣе сказать, паръ чрезвычайно слабой упругости. Между тѣмъ паръ изъ паровой коробки, по каналу y, потечетъ въ цилиндръ и будетъ давить на поршень снизу, отъ чего послѣдній, неудерживаемый сверху давленіемъ, подымется и увлечетъ за собою соединенныя съ нимъ части: коромысло, шатунъ и проч. Если теперь передвинемъ золотникъ ниже, такъ чтобы каналъ y сообщался съ холодильникомъ, а каналъ x—съ паровой коробкой, то паръ изъ-подъ поршня пойдетъ въ холодильникъ, гдѣ сгустится въ воду, а паръ изъ паровой коробки устремится по каналу x въ цилиндръ и опуститъ поршень. Итакъ, при попеременномъ подыманіи и опусканіи золотника, совершаются колебательныя движенія поршня то вверхъ, то внизъ. Преобразованіе колебательныхъ движеній коромысла и шатуна во вращеніе оси объясняется инерціею частей машины. Когда поршень достигнетъ верхней части парового цилиндра, то точка E скрѣпленія мотыля съ шатуномъ, опускаясь, доходитъ до низшаго своего положенія, но не останавливается здѣсь, а, увлекаемая инерціею шатуна и другихъ подвижныхъ частей, переходитъ это положеніе; когда потомъ поршень станетъ опускаться, то точка E будетъ подыматься по другой сторонѣ оси, и, слѣдовательно, ось получитъ вращательное движеніе по одному и тому же направленію. Движеніе золотника управляется *эксцентрикомъ*. Это есть кругъ t, прикрѣпленный неподвижно къ оси gg не въ центрѣ; около эксцентрика обходитъ кольцо, въ которомъ онъ свободно вращается; кольцо соединено со стержнемъ kk. При вращеніи оси, вращается и эксцентрикъ, а кольцо со стержнемъ перемѣщается горизонтально взадъ и впередъ; стержень kk двигаетъ

около оси r ломанный рычагъ, къ которому прикрѣпленъ прутъ z, придѣланный къ золотнику.

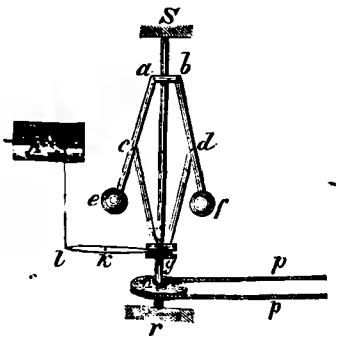
Вначалѣ дѣйствія машины, вмѣстилища A и Q бываютъ наполнены воздухомъ, который легко вытѣснить парами, сдѣлавъ ихъ, чрезъ повышеніе температуры, достаточно упругими.

Когда поршень находится на самомъ верху или внизу парового цилиндра, то на нѣсколько времени останавливается, не сообщая движенія оси gg; напротивъ, во время движенія, подымаясь или опускаясь, дѣйствуетъ съ наибольшею силою. Отсюда видно, что движеніе машины должно быть прерывистое, что въ практическихъ примѣненіяхъ весьма неудобно. Чтобы устранить это, къ оси прикрѣпляютъ маховое колесо P, имѣющее значительную массу; колесо своею инерціею ослабляетъ удары поршня и даетъ машинѣ движеніе въ ту пору, когда поршень, находясь вверху или внизу цилиндра, останавливается.

Холодная вода, необходимая для сгущенія паровъ, накачивается изъ рѣки или колодца, по трубкѣ d, всасывающимъ насосомъ ll, приводимымъ въ движеніе коромысломъ, и переливается въ воронку q, а оттуда, по трубкѣ e, въ холодильникъ. Вода, накопляющаяся въ холодильникѣ, выкачивается насосомъ Mcb и направляется по трубкѣ f въ котелъ.

Съ осью gg соединяютъ разныя машины, токарные станки, водокачальни, лѣсопильни, скоропечатныя машины и проч.

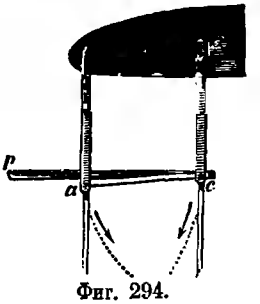
Паровая машина, производя работу, встрѣчаетъ иногда неодинаковыя сопротивленія; кромѣ того, количество топлива въ печкѣ можетъ быть разное, такъ что котелъ не будетъ получать постоянно одного и того же количества тепла. Отъ этихъ причинъ, машина должна имѣть движеніе неравномѣрное. *Центробѣжный уравнитель* Уата почти устраняетъ этотъ недостатокъ. Онъ состоитъ изъ четырехъ стержней ae, bf, gc и dg (фиг. 293), соединенныхъ шарнирами въ точкахъ c и d и образующихъ ромбъ. Стержни ae и bf имѣютъ на концахъ массивные шары e и f и прикрѣплены шарнирами a и b къ оси Sr, а стержни cg и dg соединены также шарнирами съ тяжелымъ кольцомъ g, двигающимся по длинѣ той же оси Sr. Безконечный ремень pp, который обхватываетъ кругъ n и ось махового колеса, приводитъ ось Sr во вращательное движеніе. Отъ дѣйствія центробѣжной силы, шары раздвигаются и приподымаютъ кольцо g, которое, помощію рычага lkg, имѣющаго точку опоры въ k, и прута ml, двигаетъ задвижку m, вставленную въ паропроводную трубку h. Когда движеніе машины почему либо ускорится, то задвижка задержитъ притокъ паровъ въ паровую трубку; напротивъ, при замедленіи хода, задвижка повер-



Фиг. 293.

нется назадъ и дастъ свободный проходъ пару. Центробѣжный уравнитель можно такъ установить, что движеніе машины будетъ приблизительно равномѣрно.

Стержень, соединяющій поршень m съ коромысломъ BC (фиг. 292), нельзя непосредственно прикрѣплять къ коромыслу, потому что точка прикрѣпленія двигалась бы не отвѣсно, а отъ этого стержень am, наклоняясь то въ ту, то въ другую сторону, увеличивалъ бы чрезъ треніе величину отверстія, сдѣланнаго въ крышкѣ парового цилиндра, и много пара выходило бы чрезъ это отверстіе наружу безъ всякой пользы. Уатъ придумалъ особый приводъ для соединенія коромысла съ поршнемъ, названный, по имени изобрѣтателя, *параллелограммомъ Уата*. Часть коромысла Bb, стержни Ba, bc, ac (фиг. 294) и вращающійся около неподвижной точки p стержень pc соединены между собою шарнирами; первые четыре образуютъ параллелограммъ $Bbca$. При колебаніи коромысла, точка a описываетъ дугу круга, котораго центръ c движется по дугѣ другого круга, имѣющаго неподвижный центръ p. Пусть точки p, a и c находятся на одной прямой горизонтальной линіи, и пусть коромысло параллельно этой линіи. Если теперь лѣвое плечо коромысла будетъ опускаться, то точка a, вращаясь около c, должна бы передвинуться направо отъ отвѣсной линіи; но въ то же время точка c, вращаясь около p, отойдетъ налѣво и отодвинетъ въ ту же сторону точку a; можно взять такое соотношеніе между длинами прутьевъ, что уклоненія точки a направо и налѣво отъ отвѣсной линіи будутъ мало между собою разнствовать, и, слѣдовательно, эта точка будетъ двигаться почти вертикально. Когда лѣвое плечо коромысла отъ горизонтальнаго положенія подымается, то движенія точекъ a и c также будутъ другъ другу противоположны.



Фиг. 294.

221. Паровой котелъ. Необходимая принадлежность всякой паровой машины есть котелъ. Ему обыкновенно даютъ видъ цилиндра PP (фиг. 295) съ закругленными концами; стѣнки должны быть достаточно толсты и дѣлаются изъ мѣди, чугуна, желѣза и, еще лучше, изъ литой стали. Фигура 295 изображаетъ его продольный, а фигура 296—поперечный разрѣзы. Одинаковыя буквы означаютъ однѣ и тѣ же части. Для увеличенія поверхности соприкосновенія съ пламенемъ къ котлу придѣлываются два другіе полые цилиндра B и B, сообщающіеся съ котломъ каналами c, c, c и называемые *кипятильниками*. Котелъ вмазываютъ въ печь такъ, что пламя, окружая кипятильники, дѣйствуетъ также на нижнюю часть котла. Продукты горѣнія уносятся чрезъ трубу K. Чрезъ дверцу F кладутъ въ печь горючій матеріалъ; въ pp находится рѣшетка, служащая поддуваломъ. Кипятильники и котелъ до $^2/_3$ его высоты наполняются водою. Пары собираются въ верхней части котла и проходятъ потомъ по трубкѣ m въ паровую коробку машины.

По мѣрѣ выкипанія, воду необходимо вводить въ котелъ, чтобы количество ея не измѣнялось. Это дѣлаетъ сама паровая машина посредствомъ насоса M (фиг. 291), называемаго *питательнымъ* и толкающаго теплую воду въ котелъ по питательной трубкѣ f, которой конецъ обозначенъ на фигурѣ 294 буквой n.

Отъ разныхъ причинъ, пары пріобрѣтаютъ иногда сильную упругость и

разрываютъ котелъ, что обыкновенно влечетъ за собою большія несчастія. Всѣ прочія части котла имѣютъ цѣлью предупредить подобные случаи.

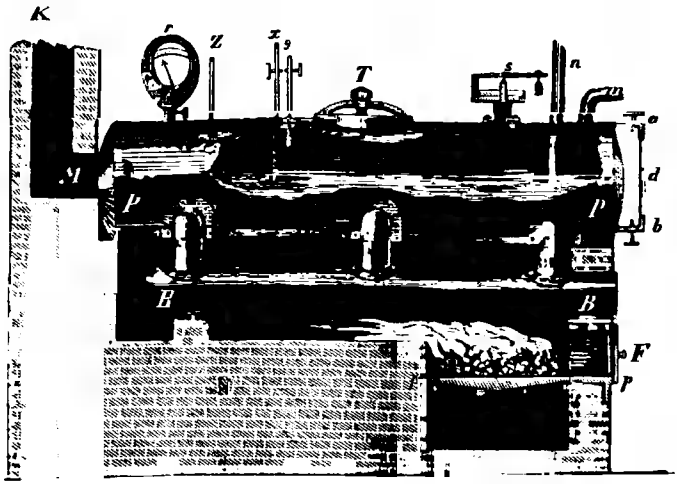
Фиг. 296.

Одна изъ такихъ частей есть предохранительный клапанъ s; иногда ему даютъ такой же видъ, какъ въ папиновомъ котлѣ, иногда устраиваютъ иначе. Въ стѣнкахъ котла дѣлается отверстіе, закрываемое пробкой, на которую накладываются тяжелыя металлическія пластинки. Общій вѣсъ этихъ пластинокъ берется такой, чтобы паръ, при упругости гораздо меньше той, при которой котелъ можетъ разорваться, былъ въ состояніи поднять пробку и выйти наружу.

Отъ разныхъ причинъ, въ котлѣ можетъ образоваться такое большое количество пара, что предохранительный клапанъ оказывается недостаточнымъ. Къ такимъ причинамъ принадлежитъ низкое стояніе воды въ котлѣ. Стѣнки котла, находящіяся въ прикосновеніи съ водою, имѣютъ температуру этой жидкости, какъ бы ни было сильно пламя. Если же вода станетъ ниже надлежащей высоты, то тѣ части стѣнокъ, которыя касаются пламени и не касаются воды, могутъ сильно накалиться. Когда потомъ вода снова станетъ подыматься въ котлѣ, то, достигнувъ накаленныхъ стѣнокъ, мгновенно дастъ огромное количество паровъ, способное произвести взрывъ. Существуетъ множество способовъ опредѣлять высоту воды въ котлѣ и поддерживать ее на постоянной высотѣ. Чрезъ стѣнки котла (фиг. 295) пропускаются двѣ металлическія трубки a и b, одна въ воду, другая въ паръ, соединенныя внѣ печи вертикальной стеклянной трубкой d. Уровни жидкости въ котлѣ и трубкѣ, находясь подъ одинаковыми давленіями, будутъ стоять на одной высотѣ. Употребляютъ еще другой пріемъ. Въ котелъ проводятъ двѣ трубки x и y съ кранами, опущенныя на столько, что конецъ одной стоитъ ниже того уровня, далѣе котораго вода не должна опускаться, а конецъ другой—выше наибольшей высоты жидкости. Если отпираемъ краны трубокъ, то, при надлежащей высотѣ воды, изъ одной должна брызнуть вода, изъ другой—паръ. Какъ низкое, такъ и высокое стояніе воды въ котлѣ невыгодны: первое—потому что можетъ сопровождаться взрывомъ, во второмъ случаѣ—останется мало мѣста для пара.

Обыкновенная рѣчная вода, особенно ключевая, содержитъ въ растворѣ разныя минеральныя вещества, которыя при кипѣніи всѣ отлагаются на стѣнкахъ котловъ и образуютъ твердый слой, называемый накипью, которая также можетъ причинить взрывъ. По причинѣ худой ея теплопроводности, стѣнки паровика будутъ имѣть гораздо выше температуру, нежели вода. Поэтому, если по какой либо причинѣ слой накипи лопнетъ, то вода чрезъ образовавшуюся трещину коснется накаленныхъ стѣнокъ котла и дастъ большое количество паровъ, отъ чего накипь еще болѣе растрескается въ смежныхъ точкахъ, и большая накаленная поверхность войдетъ въ соприкосновеніе съ водою. Первоначально это неудобство устраняли тѣмъ, что, по прошествіи большаго или меньшаго промежутка времени, входили въ котелъ чрезъ большое отверстіе T (фиг. 294), запертое крышкой, и вычищали стѣнки. Впослѣдствіи случайно

открыли, что прибавленіе къ водѣ крахмала, или красильнаго дерева и проч., препятствуетъ образованію накипи; минеральныя вещества ложатся тогда на дно въ видѣ грязи, которую легко выпустить чрезъ особый кранъ въ нижней части котла.

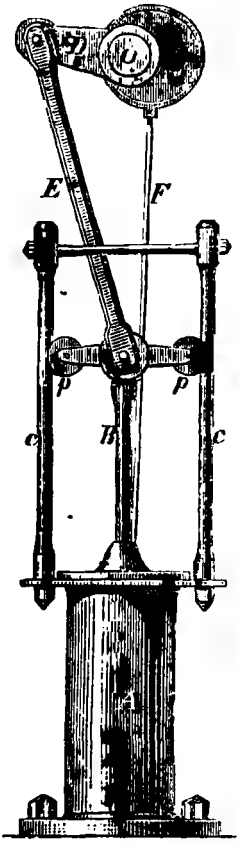


Фиг. 295.

Упругость паровъ опредѣляется манометромъ r (фиг. 295); наиболѣе употребителенъ манометръ Бурдона [142]. Термометръ Z также можетъ служить для опредѣленія упругости паровъ, потому что отъ давленія на поверхность жидкости зависитъ температура ея кипѣнія.

222. Машины низкаго и высокаго давленій. Паровыя машины бываютъ *низкаго и высокаго давленія*. Въ машинахъ перваго рода, паръ изъ парового цилиндра идетъ въ холодильникъ, такъ что на одну сторону поршня давитъ паръ, а другая, обращенная къ той сторонѣ цилиндра, которая сообщена съ холодильникомъ, не претерпѣваетъ почти никакого давленія. Такова машина Уата. Машины высокаго давленія не имѣютъ холодильника, и паръ выпускается изъ парового цилиндра прямо на воздухъ; поэтому, одна сторона поршня подвержена давленію атмосферы. Слѣдовательно, въ машинѣ высокаго давленія упругость пара должна быть больше на одну атмосферу, нежели въ машинѣ низкаго давленія, для произведенія такой же работы, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ. По этой причинѣ, машины высокаго давленія много расходуютъ топлива для полученія пара, но зато онѣ занимаютъ мало мѣста, потому что здѣсь не нужны запасъ холодной воды, холодильникъ и насосы. Эти машины употребляются преимущественно въ тѣхъ случаяхъ, когда онѣ сами должны перемѣщаться. Сюда относятся *локомотивы*, *локомобили*, *пароходы* и друг. Впрочемъ пароходы и до сихъ поръ нерѣдко снабжаются машинами низкаго давленія.

223. Машина Уата съ коромысломъ даже безъ холодильника занимаетъ много мѣста, дорого стоитъ и представляетъ нѣкоторыя неудобства при установкѣ. Съ давнихъ поръ старались упростить ея устройство и разрѣшили эту задачу разными способами. Мы разсмотримъ здѣсь одинъ изъ нихъ, наиболѣе употребительный.



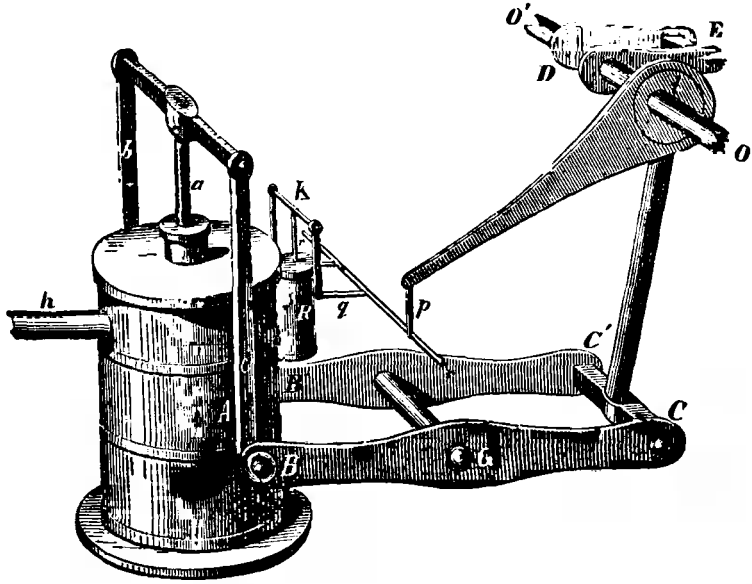
Фиг. 297

Паровой цилиндръ A (фиг. 297) имѣетъ вертикальное положеніе; стержень B, прикрѣпленный къ паровому поршню, можетъ двигаться только вертикально, потому что соединенныя съ нимъ колеса pp постоянно упираются въ неподвижныя стойки cc; это приспособленіе предохраняетъ стѣнки отверстія въ крышкѣ цилиндра A отъ порчи, вслѣдствіе тренія о стержень B, и замѣняетъ такимъ образомъ параллелограммъ Уата. Стержень B парового поршня приводитъ въ движеніе, помощію шатуна E и мотыля D, ось O и соединенныя съ нею части. Паръ, прибывающій въ паровую коробку, распредѣляется золотникомъ, приводимымъ въ движеніе эксцентрикомъ G и стержнемъ F.

224. Пароходъ. Паровыя машины, употребляемыя для приведенія въ движеніе судовъ, бываютъ и высокаго, и низкаго давленія, и притомъ весьма разнообразнаго устройства. На фигурѣ 298 изображенъ одинъ изъ видовъ пароходныхъ машинъ. OO' есть ось, установленная перпендикулярно къ длинѣ судна; она имѣетъ на обоихъ концахъ по колесу съ лопатками, которыя частію погружены въ воду. Вращеніе оси производится помощію мотыля DE и шатуна ECC'. Послѣдній получаетъ колебательныя движенія отъ двухъ коромыслъ BC и $B'C'$, вращающихся около оси G. Поршень, помѣщенный внутри парового цилиндра A, заставляетъ колебаться, помощію стержней a, b и c, оба коромысла. Паръ прибываетъ изъ парового котла, по трубкѣ h, въ паровую коробку R. Эксцентрикъ t дѣйствуетъ на ломаный рычагъ pq, вращающійся около оси rr, и такимъ образомъ то опускаетъ, то подымаетъ горизонтальный стержень K и соединенный съ нимъ золотникъ. Холодильникъ (если машина низкаго давленія), насосы и прочія части машины на фигурѣ не показаны. Махового колеса на пароходахъ совершенно не бываетъ; его замѣняетъ инерція самого судна. Кромѣ того, для сообщенія движенію большей равномѣрности, заставляютъ дѣйствовать на ту же ось другую такую же машину, какъ представленная на фигурѣ 298, а мотыли устанавливаются другъ къ другу перпендикулярно. При такомъ расположеніи, когда одинъ поршень находится вверху или внизу парового цилиндра и, слѣдовательно, не производитъ на ось никакого дѣйствія, то другой поршень будетъ на срединѣ своего пути. При вращеніи оси, лопатки колесъ должны преодолѣвать инерцію воды; поэтому, приводя въ движеніе воду, онѣ сообщаютъ въ то же время движеніе пароходу.

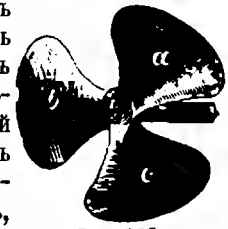
Въ морѣ, при волненіи, колеса съ лопатками представляютъ важныя неудобства; онѣ то выходятъ изъ воды, то глубоко въ нее поружаются· будучи

открыты, онѣ подвергаются дѣйствію непріятельскихъ ядеръ; наконецъ, много тратится силы пара совершенно безполезно, потому что лопатки по выходѣ



Фиг. 298.

изъ воды подымаются наклонно, а, двигаясь внѣ воды, должны преодолѣвать сопротивленіе воздуха. Правда, можно, посредствомъ особой системы эксцентриковъ, сдѣлать такъ, что лопатки будутъ постоянно въ отвѣсномъ положеніи, но на это также нужно истратить нѣкоторую силу. По этимъ причинамъ, предпочитаютъ употреблять, вмѣсто гребныхъ колесъ, винтъ. Ось, приводимая въ движеніе паровой машиной, лежитъ въ нижней части парохода по направленію длины его и выходитъ въ воду чрезъ отверстіе, сдѣланное въ подводной части кормы. Здѣсь на концѣ ея *O* (фиг. 299) насаженъ винтъ, который состоитъ изъ трехъ крыльевъ *a*, *b* и *c*, наклоненныхъ къ оси. Если ось вращается по такому направленію, какое нужно, чтобы винтъ вывинчивался, то крылья, отталкивая воду, сообщаютъ судну поступательное движеніе. Упомянутыя неудобства колесныхъ пароходовъ не имѣютъ мѣста въ винтовыхъ.



Фиг. 299.

225. Локомотивъ. Локомотивъ отличается отъ прочихъ паровыхъ машинъ котломъ, котораго устройство должно быть таково, чтобы, занимая малое пространство, онъ могъ давать большое количество паровъ. Для этого топка помѣщается внутри самого котла; кромѣ того, раскаленные газы, образующіеся при горѣніи, идутъ по трубкамъ, проведеннымъ чрезъ воду. Печь *A* (фиг. 300) есть продолженіе котла *P*, вдоль котораго лежитъ множество трубокъ *S*, до 100 и болѣе. Раскаленные газы идутъ изъ печи по этимъ трубкамъ въ дымовую трубу *K*. При такомъ устройствѣ, нагрѣваемая пламенемъ поверхность весьма велика, отъ чего образуется огромное количество пара, который соби-

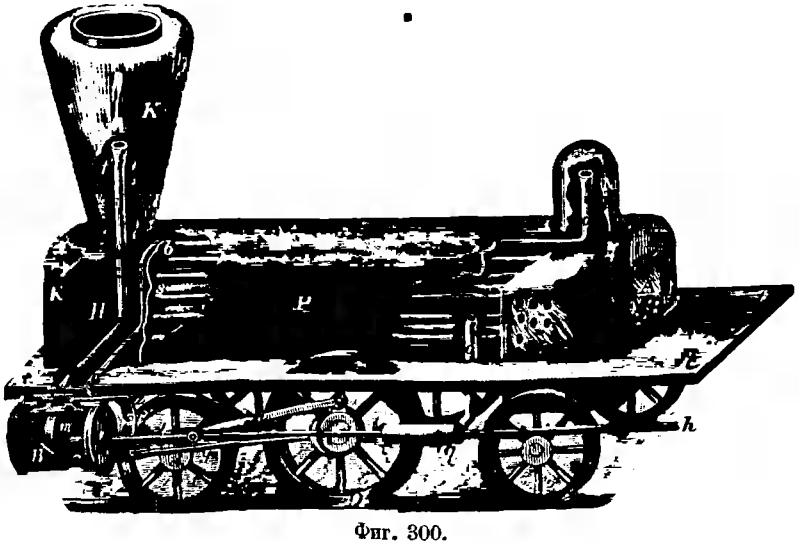
рается въ особенный резервуаръ M надъ котломъ. Оттуда онъ входитъ въ трубку abc, которая идетъ сначала въ самомъ котлѣ, потомъ выходитъ въ дымовую камеру H, гдѣ раздѣляется на двѣ другія. Послѣднія оканчиваются въ паровыхъ коробкахъ двухъ горизонтальныхъ паровыхъ цилиндровъ, расположенныхъ по обѣ стороны локомотива, и изъ которыхъ одинъ B показанъ на фигурѣ. Паръ распредѣляется золотниками x, и поэтому дѣйствуетъ то на одну, то на другую сторону поршней m, заставляя ихъ двигаться взадъ и впередъ. Стержни ll, придѣланные къ поршнямъ и управляемые пазами q, двигаютъ шатуны n, которые вращаютъ, помощію мотылей, ось и соединенныя съ нею неподвижно два колеса D. Вслѣдствіе большого вѣса локомотива, эти колеса испытываютъ сильное треніе о рельсы, а потому, вращаясь, въ то же время катятся и уносятъ съ собою локомотивъ и соединенные съ нимъ вагоны. Если дорога наклонна, такъ что локомотивъ долженъ подыматься, или когда слишкомъ великъ вѣсъ вагоновъ, то сопротивленіе движенію можетъ сдѣлаться больше тренія, и тогда колеса D будутъ только скользить, а поѣздъ останется на мѣстѣ. Подобное обстоятельство наблюдается нерѣдко въ томъ случаѣ, когда рельсы смочены дождемъ. По той же причинѣ, всегда, вмѣстѣ съ поступательнымъ движеніемъ, колеса нѣсколько скользятъ, отъ чего скорость бываетъ менѣе надлежащей. Кромѣ этихъ колесъ, есть еще двѣ пары колесъ или болѣе, на осяхъ которыхъ лежитъ металлическая рама tt, поддерживающая котелъ. Золотники x, помощію стержней y и z и рычага перваго рода r, приводятся въ движеніе эксцентриками, насаженными на ось двигательныхъ колесъ D. Чтобы сообщить машинѣ равномѣрность движенія, мотыли одной и той же оси утверждаются перпендикулярно другъ къ другу; отъ этого, когда въ одномъ паровомъ цилиндрѣ поршень будетъ находиться на срединѣ, въ другомъ—у одного изъ краевъ и, слѣдовательно, когда одинъ шатунъ будетъ на кривошипъ давить, другой не будетъ производить никакого дѣйствія. Кромѣ того, инерція самого поѣзда ослабляетъ удары поршня, и такимъ образомъ замѣняетъ до нѣкоторой степени маховое колесо. Паръ, совершившій свое дѣйствіе въ паровыхъ цилиндрахъ, выходитъ изъ паровыхъ коробокъ по трубкамъ ff въ дымовую трубу, гдѣ онъ усиливаетъ тягу, которая, при незначительной высотѣ трубы локомотива, была бы безъ этого весьма слаба. Вода, по мѣрѣ ея выкипанія, накачивается вновь по трубкамъ h и o насосомъ q изъ резервуара, помѣщеннаго въ вагонѣ, называемомъ *тендеромъ*, который привязывается къ локомотиву и везетъ, кромѣ воды, еще запасъ горючаго матеріала. При котлѣ всегда бываетъ предохранительный клапанъ, манометръ, особый приводъ, помощію котораго можно сообщить локомотиву прямое и обратное движеніе, и другія части, непоказанныя на фигурѣ—чтобы не усложнить чертежа.

226. Локомобили. Существуютъ паровыя машины подвижныя, употребляемыя при гидравлическихъ работахъ, обработкѣ земли и проч. Онѣ имѣютъ видъ локомотивовъ, перевозятся лошадьми съ мѣста на мѣсто и называются *локомобилями*.

Локомобилями называютъ еще локомотивы, которые собственною силою перемѣщаются по обыкновеннымъ дорогамъ; они еще не имѣютъ важнаго практическаго значенія.

227. Сила паровыхъ машинъ. Сила всякой паровой машины зависитъ отъ величины поршня, отъ упругости пара и отъ рода маши-

ны, то есть низкаго или высокаго она давленія. Въ случаѣ машины низкаго давленія, эта сила равна вѣсу ртутнаго столба, котораго поперечный разрѣзъ равенъ площади поршня, а высота зависитъ отъ температуры и, слѣдовательно, упругости пара; такъ, при температурѣ 150° эта высота равна 3572^{mm}, предполагая, конечно, что въ холодильникѣ абсолютная пустота. Если машина высокаго давленія, то изъ высоты ртутнаго столба, измѣряющаго упругость пара, надо вычесть высоту барометра. Въ машинахъ высокаго давленія упругость паровъ доводятъ иногда до 10 атмосферъ, въ машинахъ низкаго—немного болѣе одной. Въ практикѣ находятъ удобнымъ выражать силу паровой машины посредствомъ особенной единицы силъ, называемой *паровой лошадью*. Этимъ терминомъ обозначаютъ силу, способную поднять въ одну секунду грузъ въ 15 пуд. на высоту одного фута; эта сила немного болѣе средней силы обыкновенной лошади. Такимъ образомъ, если говорятъ, что сила нѣкоторой паровой машины равна 20 силамъ, то, значитъ, машина производитъ такое же дѣйствіе, какъ 20 паровыхъ лошадей, или что она способна поднять въ одну секунду 300 пудъ на высоту одного фута.



Фиг. 300.

228. Воздушныя машины. Въ машинахъ вмѣсто пара нерѣдко употребляютъ какъ двигатель нагрѣтый воздухъ. Основаніе такихъ машинъ слѣдующее. Въ особый резервуаръ вводятъ холодный воздухъ, который потомъ нагрѣваютъ; отъ этого, упругость его увеличивается. Затѣмъ изъ резервуара воздухъ впускаютъ въ цилиндръ по одну сторону поршня, котораго другая сторона подвержена давленію атмосферы. Поршень станетъ двигаться, и когда

дойдетъ до конца цилиндра, то золотникъ перемѣняетъ направленіе нагрѣтаго воздуха, заставляя его идти по другую сторону поршня, который отъ этого отодвигается назадъ. Убыль воздуха въ резервуарѣ вознаграждается нагнетательнымъ воздушнымъ насосомъ, приводимымъ въ движеніе самой машиной и накачивающимъ холодный воздухъ.

Машины этого рода, называемыя *воздушными* и изобрѣтенныя Эриксономъ, не могутъ имѣть большой силы, по причинѣ малой разницы между упругостями холоднаго и нагрѣтаго воздуха.

229. Взрывчатыя машины. Съ недавняго времени въ практику стали входить взрывчатыя машины. По одну сторону поршня вводятъ свѣтильный газъ и воздухъ и пропускаютъ чрезъ смѣсь электрическую искру; происходитъ взрывъ, и поршень приходитъ въ движеніе. Затѣмъ золотникъ перемѣщается и даетъ возможность войти такой же смѣси по другую сторону поршня; снова при пропусканіи искры происходитъ взрывъ, и поршень отходитъ назадъ.— Эта машина изобрѣтена Ленуаромъ. Она тѣмъ удобна, что занимаетъ мало мѣста, потому что не нуждается въ паровикѣ, печкѣ и проч., но требуетъ постояннаго притока свѣтильнаго газа, что впрочемъ въ большихъ городахъ, гдѣ есть проводный газъ, не составляетъ никакого затрудненія.

Источники тепла и холода.

230. Когда два тѣла неодинаковой температуры находятся въ прикосновеніи, или въ нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга, то количество теплорода въ одномъ тѣлѣ постепенно уменьшается, а въ другомъ увеличивается; первое тѣло въ отношеніи второго называется *источникомъ тепла*, а второе относительно перваго—*источникомъ холода*. Источниками тепла или холода называютъ также нѣкоторыя явленія, сопровождаемыя нагрѣваніемъ или охлажденіемъ окружающихъ тѣлъ.

Къ источникамъ тепла принадлежатъ: солнце и другія небесныя тѣла, внутренняя раскаленная масса земли, треніе, сжатіе, ударъ, волосность, химическія явленія, теплота, освобождаемая организмами животныхъ и растеній, ожиженіе и отвердѣваніе. Источники холода: разрѣженіе, испареніе, переходъ тѣлъ изъ твердаго состоянія въ жидкое и друг.

Теплота небесныхъ тѣлъ. Вмѣстѣ съ лучами свѣта, солнце посылаетъ къ намъ лучи теплорода, которые производятъ на землѣ многія явленія: раздѣленіе на климатическіе поясы, послѣдовательность временъ года и проч. Количество тепла, сообщаемаго при этомъ единицѣ земной поверхности, обратно пропорціонально квадрату разстоянія до солнца и прямо пропорціонально синусу угла, составляемаго направленіемъ лучей съ плоскостью, на которую они падаютъ. Такъ какъ разстояніе отъ земли до солнца въ продолженіе года почти не измѣняется, то количество тепла не зависитъ отъ этой причины. Разница въ нагрѣваніи земной поверхности въ разныя времена года происходитъ единственно отъ направленія лучей.

Теплота, получаемая землею отъ другихъ небесныхъ тѣлъ, не ощутительна.

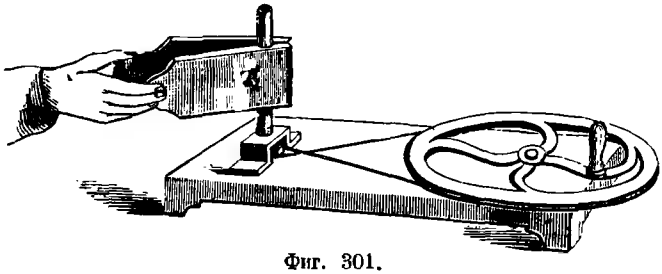
При углубленіи во внутренность земли, температура возрастаетъ, среднимъ числомъ, чрезъ каждые 92 фута на 1°. Если этотъ законъ справедливъ для всякой глубины, то слой земли, отстоящій отъ поверхности на 100 верстъ, долженъ имѣть болѣе 3500°,—температура, при которой всѣ извѣстныя вещества находятся либо въ жидкомъ, либо въ газообразномъ состояніяхъ. Изъ этого, впрочемъ, не слѣдуетъ заключать, что внутренность земли находится въ расплавленномъ состояніи, ибо, не должно забывать, что массы, находящіяся внутри земного шара, испытываютъ огромное давленіе, а извѣстно, что отъ увеличенія давленія точка плавленія почти всѣхъ веществъ повышается. Изъ предыдущаго только можно вывести, что температура внутреннихъ слоевъ земли весьма велика.

Теплородъ отъ центра земли постоянно притекаетъ на поверхность, а потомъ частію разсѣивается въ видѣ лучей въ безконечномъ пространствѣ вселенной, и земной шаръ постепенно охлаждается. Охлажденіе сопровождается уменьшеніемъ объема, а вмѣстѣ съ тѣмъ должно уменьшиться, какъ это доказывается въ механикѣ, время оборота земли на оси и, слѣдовательно, продолжительность сутокъ. Но какъ сравненіе древнихъ астрономическихъ наблюденій съ новѣйшими убѣждаетъ насъ, что въ послѣднія 3000 лѣтъ не произошло замѣтнаго измѣненія сутокъ, то необходимо допустить, что поверхность земного шара чрезвычайно мало получаетъ тепла отъ центра; это происходитъ отъ худой теплопроводности верхнихъ слоевъ.

231. Треніе. Если два тѣла будемъ другъ о друга тереть, то освобождается теплота, производящая повышеніе температуры въ обоихъ тѣлахъ. Это подтверждается многими явленіями. Мы ощущаемъ теплоту, если потираемъ руки одна о другую. Дикіе добываютъ огонь чрезъ треніе двухъ кусковъ дерева одинъ о другой. При ударѣ огнива о кремень, фарфоръ или вообще о что нибудь твердое, частицы стали отъ тренія отрываются; при этомъ онѣ столь сильно накаливаются, что горятъ въ кислородѣ воздуха и являются въ видѣ искръ; падая на какое либо воспламеняющееся тѣло, напр. трутъ, онѣ зажигаютъ его. Точно такъ же объясняется явленіе искръ изъ-подъ подковъ лошадей на мостовой, или при натачиваніи стальныхъ инструментовъ на точильномъ камнѣ и проч. Оси въ машинахъ сильно нагрѣваются, если не были предварительно смазаны чѣмъ нибудь жирнымъ; то же замѣчается въ осяхъ экипажей; деревянныя оси даже загораются. Металлическія вещи, при обработкѣ ихъ напилкомъ, сильно нагрѣваются. Нѣкоторыя вещества, какъ напр.

фосфоръ при незначительномъ треніи воспламеняются; на этомъ основано употребленіе фосфорныхъ спичекъ, которыя отъ тренія загораются. Если тереть два куска льда одинъ о другой при температурѣ ниже 0°, то ледъ таетъ. Ядро во время полета, при треніи о частицы воздуха, сильно нагрѣвается; аэролиты, по причинѣ огромной скорости, накаливается даже добѣла.

Количество тепла, освобождаемаго треніемъ, весьма велико. Бомонъ и Мейеръ изобрѣли снарядъ, который помощію тренія доставляетъ огромное количество тепла. Онъ состоитъ изъ бревна, вложеннаго въ трубу и приводимаго въ быстрое вращательное движеніе помощію какого либо двигателя. Отъ тренія бревна о стѣнки трубы отдѣляется теплота. Если труба проходитъ чрезъ котелъ съ водою, то образуются пары, упругостью которыхъ можно привести въ движеніе паровую машину. Впрочемъ работа, производимая такимъ способомъ, менѣе той, какую можно сдѣлать, если къ машинѣ непосредственно приложить силу, употребленную на приведеніе въ движеніе бревна. Но въ тѣхъ случаяхъ, когда есть естественный двигатель, каковы вѣтеръ, паденіе воды, которые ничего не стоятъ, то, за недостаткомъ топлива, снарядъ Бомона и Мейера можетъ быть полезенъ, какъ источникъ тепла для нагрѣванія комнатъ и проч.—Тиндаль далъ слѣдующій опытъ. На маломъ колесѣ центробѣжной машины (фиг. 301) утверждаютъ мѣдную трубку и наполняютъ ее водою. Потомъ, зажавъ трубку между двумя досками T, соединенными шарниромъ, приводятъ ее въ быстрое вращательное движеніе. По прошествіи нѣсколькихъ минутъ, вода закипаетъ.



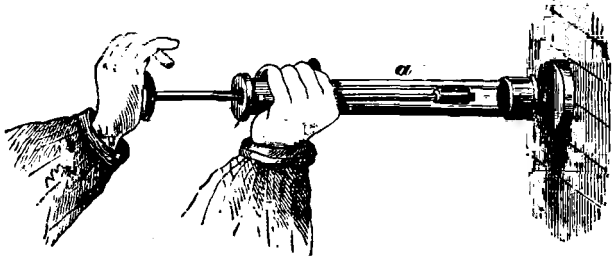
Фиг. 301.

232. Сжатіе. Сжатіе тѣлъ всегда сопровождается отдѣленіемъ тепла, и тѣмъ въ большемъ количествѣ, чѣмъ тѣло было болѣе сжато. Въ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ это мало замѣтно, потому что они мало сжимаемы, но газы чрезъ быстрое и сильное сжатіе нагрѣваются до весьма высокой температуры. На этомъ основано устройство *воздушнаго огнива*. Въ стеклянной закрытой съ одного конца трубкѣ *a* (фиг. 302) движется поршень; къ нему прикрѣпляютъ кусокъ трута и поршень быстро вдвигаютъ въ цилиндръ. Температура при сжатіи воздуха такъ возвышается, что трутъ загорается.

Если сжатіе газа можетъ быть источникомъ тепла, то, обратно, разрѣженіе должно производить охлажденіе. Если поставимъ подъ колоколъ воздушнаго насоса термометръ Брегета, то при поднятіи поршня стрѣлка

двигается въ сторону, соотвѣтствующую пониженію температуры. Если прекратить на время дѣйствіе насоса, то воздухъ подъ колоколомъ снова приметъ температуру среды, но по открытіи крана внѣшній воздухъ, входя подъ колоколъ, сожметъ тамъ находящійся газъ и возвысить его температуру. Иногда въ каменноугольныхъ копяхъ встрѣчаются полости, наполненныя газами, весьма сжатыми и влажными; какъ скоро пробьютъ случайно такую полость, то газъ вырывается наружу и, вслѣдствіе расширенія, столь сильно охлаждается, что покрываетъ ледяною корою всѣ тѣла, попадающіяся ему на пути. Когда пары выпускаютъ изъ паровика чрезъ малое отверстіе, то, держа руку на нѣкоторомъ разстояніи отъ отверстія, мы почувствуемъ даже свѣжесть.

Нѣкоторыя тѣла имѣютъ способность поглощать газы и при этомъ всегда нагрѣваются. Такова губчатая платина. Если на нее направимъ струю водорода, то газъ загорается; на этомъ основано устройство *водороднаго огнива*, описываемаго въ курсахъ химіи. Сюда относится также уголь, который, чрезъ поглощеніе атмосфернаго воздуха, можетъ воспламениться. При медленномъ поглощеніи газа, освобождающаяся теплота постепенно разсѣивается, и температура мало или вовсе не возвышается; такимъ образомъ, металлъ палладій можетъ поглотить до 900 объемовъ водорода, не нагрѣваясь замѣтно.



Фиг. 302.

Освобожденіе тепла при сгущеніи газовъ помощію нагнетательнаго насоса есть одно изъ обстоятельствъ, препятствующихъ сжатіямъ свыше 25 атмосферъ, потому что кожа поршней при высокой температурѣ скоро портится.

233. Ударъ. Когда движущееся тѣло встрѣчаетъ на пути препятствіе, то скорость уменьшается, а на мѣсто ея освобождается теплота. Такъ гвоздь, когда его вколачиваютъ въ стѣну, нагрѣвается. Сильными и частыми ударами молота по желѣзной полосѣ можно накалить ее докрасна. Этимъ обстоятельствомъ пользуются иногда кузнецы для добыванія огня. Свинецъ отъ ударовъ молота плавится.

234. Химическія явленія. При всякомъ химическомъ соединеніи, а иногда и разложеніи, происходитъ повышеніе температуры. Если смѣшивать сѣрную кислоту съ водою, то отдѣляется теплота въ столь большомъ количествѣ, что сосудъ, въ которомъ производятъ смѣшеніе, невозможно удержать въ рукѣ. Подобное явленіе представляютъ при смѣшеніи съ водою: кали, натръ, известь и проч.

Количество тепла, освобождающагося при химическихъ соединеніяхъ, бываетъ весьма различно и измѣряется особаго рода калориметрами. При взаимномъ дѣйствіи кислотъ и металлическихъ окисловъ и другихъ твердыхъ или жидкихъ тѣлъ, между которыми реакція происходитъ при обыкновенной температурѣ,—можно пользоваться калориметромъ Фавра и Зильбермана. Для этого въ трубку *M* (фиг. 252) вводятъ одно за другимъ испытуемыя вещества и затѣмъ замѣчаютъ перемѣщеніе ртути въ трубкѣ *rr*.

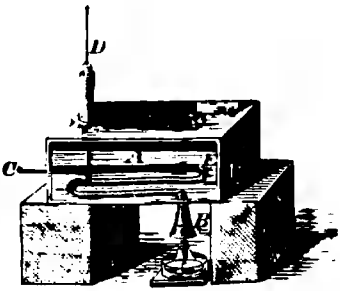
Въ слѣдующей таблицѣ даны нѣкоторые результаты, показывающіе число единицъ теплорода, освобождаемаго соединеніемъ металлическихъ окисловъ съ кислотами, взятыхъ въ такомъ количествѣ, которое нужно для образованія средней соли.

Одинъ фунтъ.	Съ сѣрной кислотой.	Съ азотной кислотой.	Съ уксусной кислотой.
Кали	342	230	297
Натра.	520	493	439
Извести.	670	605	524
Магнезіи	724	642	613
Закиси желѣза	507	268	238

Горѣніе есть химическое соединеніе горящаго тѣла съ кислородомъ (также съ хлоромъ, парами сѣры) и сопровождается столь сильнымъ возвышеніемъ температуры, что является свѣтъ. Органическія тѣла—дерево, сало и проч.—тогда только могутъ горѣть, когда одна изъ частей ихъ доведена до достаточно высокой температуры. При соединеніи этой части съ кислородомъ воздуха, отдѣлившаяся теплота передается смежнымъ частицамъ, и если ея сообщено столько, что можетъ снова произойти химическое соединеніе съ кислородомъ, то горѣніе будетъ продолжаться, причемъ опять отдѣлится теплота, и такъ далѣе. *Зажечь* тѣло значитъ привести тѣло въ такое состояніе, чтобы оно стало горѣть. Пламя при горѣніи дерева, сала и другихъ органическихъ веществъ есть ничто иное, какъ углеродистоводородный газъ, освобождаемый горящимъ тѣломъ и доведенный сильнымъ нагрѣваніемъ до раскаленнаго состоянія. При соединеніи этого газа съ кислородомъ воздуха, образуются пары воды и угольный ангидридъ.

Теплородъ, освобождающійся при горѣніи, имѣетъ весьма важное значеніе въ промышленности. Поэтому, многіе ученые занимались его измѣреніемъ. Вотъ

одинъ изъ способовъ. Ящикъ A (фиг. 303), служащій калориметромъ, наполняютъ водою, чрезъ массу которой проводятъ трубку BEC, изгибающуюся нѣсколько разъ. На нижнемъ концѣ трубка имѣетъ воронку B, подъ которую помѣщаютъ горящее тѣло; продукты горѣнія и нагрѣтый воздухъ идутъ по трубкѣ BEC и уступаютъ свою теплоту водѣ, а потомъ выходятъ, чрезъ конецъ C, наружу. Температура жидкости указывается термометромъ D. Если извѣстны количество воды и ея температура до и послѣ опыта, то не трудно будетъ вычислить, сколько освободилось единицъ тепла. При этихъ опытахъ есть много обстоятельствъ, препятствующихъ точности наблюденій. Такъ, много тепла отнимается отъ воды окружающею средой; газы, выходящіе чрезъ трубку C, не совершенно еще охлаждены; горючее тѣло зажигается внѣ калориметра и проч. Всѣ эти обстоятельства устранены или, по крайней мѣрѣ, ослаблены въ калориметрахъ особаго рода, описаніе которыхъ помѣщается въ подробныхъ курсахъ физики.



Фиг. 303.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ приведены нѣкоторые результаты, означающіе, сколько единицъ теплорода освобождается при сгораніи одного фунта вещества.

Водородъ	34462	Алмазъ	7770
Древесный уголь . . .	8080	Самородная сѣра	2262
Графитъ	7797		

235. Органическая жизнь. При всѣхъ жизненныхъ процессахъ освобождается теплота; таковы преимущественно дыханіе и пищевареніе.

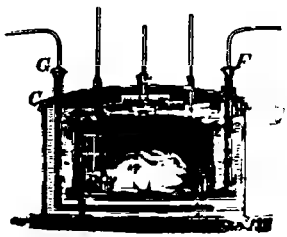
При дыханіи грудная полость расширяется; кислородъ вносится въ легкія, гдѣ только влажная и тонкая перепонка отдѣляетъ его отъ венозной крови; здѣсь кислородъ проникаетъ въ кровь и превращаетъ ее, изъ темной венозной, въ красную артеріальную. Окисленная кровь входитъ потомъ въ сердце, откуда разносится по всему организму. Поглощенный кровью кислородъ употребляется на измѣненіе питательныхъ веществъ, введенныхъ въ кровь пищевареніемъ. При этомъ, между многими соединеніями, образуется также угольный ангидридъ, который растворяется въ крови; достигнувъ легкихъ, этотъ газъ освобождается и выдыхается наружу. При образованіи угольнаго ангидрида и другихъ продуктовъ выдѣляется теплота.

Пищевареніе есть также одинъ изъ источниковъ тепла въ нашемъ организмѣ. Извѣстно, что натощакъ легче озябнуть на сильномъ холодѣ, нежели принявъ нѣкоторое количество пищи.

При движеніи мы ощущаемъ также бо́льшую теплоту, нежели въ спокойномъ состояніи, потому что при этомъ ускоряется дыханіе, вво-

дится въ организмъ бо́льшее количество кислорода и чрезъ то бо́льшее количество веществъ подвергается химическому процессу.

Количество тепла, освобождаемаго животными, опредѣляется посредствомъ особеннаго калориметра. Онъ состоитъ изъ ящика AB (фиг. 304), въ который помѣщаютъ животное; этотъ ящикъ погружаютъ въ другой CD, наполненный водою, которой количество и температура должны быть извѣстны. Воздухъ, необходимый для дыханія животнаго, вводится чрезъ трубку F, а продукты дыханія выходятъ чрезъ другую трубку G. Въ ящикъ AB кладутъ еще нѣкоторое количество пищи. Теплота, освобождаемая животнымъ, сообщается водѣ калориметра. Спустя нѣкоторое время, замѣчаютъ повышеніе температуры; отсюда можно опредѣлить количество освободившагося тепла.



Фиг. 304.

Растенія отдѣляютъ незначительное количество теплоты. Зеленыя части растеній вбираютъ изъ воздуха углекислый газъ, разлагаютъ его, углеродъ задерживаютъ, а кислородъ выдыхаютъ назадъ. Почки и цвѣты, напротивъ, вдыхаютъ кислородъ и выдѣляютъ углекислый газъ.

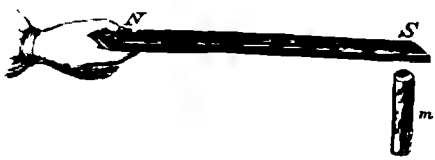
Отчего въ комнатѣ становится теплѣе, когда въ ней много людей? — Можетъ ли газъ при измѣненіи плотности сохранить свою упругость?—Отчего въ комнатахъ, послѣ мытья половъ, дѣлается холоднѣе?—Стержень длиною 15 футовъ при нагрѣваніи отъ 0^0 на 100^0 расширился на 0,2 линіи; какъ великъ коэффиціентъ расширенія?—Опредѣлить среднюю температуру слѣдующей смѣси: 4 фунта воды при 20^0, 8 фунт. при 70^0, 15 ф. при 46^0 и 3 ф. при 32^0.—Опредѣлить среднюю температуру смѣси изъ 12 фунт. воды 30^0 и 60 фунт. ртути 75^0, въ которую опустили кусокъ платины вѣсомъ въ 20 ф. при 10^0?—Если въ 23 фунта воды при 56^0 положить кусокъ льду въ 17 фун. при—10^0, то весь ли ледъ растаетъ?—Почему стеклянные стаканы съ толстыми стѣнками, когда въ нихъ вливаютъ горячую воду, лопаются чаще, нежели стаканы съ тонкими стѣнками?—Зачѣмъ кладутъ въ стаканъ серебряную ложечку, когда въ него наливаютъ горячую жидкость? — Отчего при вѣтрѣ чувствуется бо́льшій холодъ, нежели въ тихую погоду, хотя бы температура осталась та же?—Почему, обмахиваясь вѣеромъ, мы чувствуемъ прохладу?—Почему при вѣтрѣ тѣла высыхаютъ скорѣе?—Почему пламя подымается вверхъ?—Какую температуру должна имѣть вода, чтобы ледъ при 0^0 могъ въ ней тонуть?—Почему вода въ пористыхъ сосудахъ, пропускающихъ чрезъ свои стѣнки жидкость, бываетъ холоднѣе окружающей среды?—Можно ли всасывающимъ насосомъ поднять кипящую воду?—Отчего послѣ дождя камень скорѣе обсыхаетъ, нежели дерево?—Какія печи скорѣе охлаждаются: кирпичныя или чугунныя?—Какія крыши лучше предохраняютъ отъ холода: желѣзныя, деревянныя или соломенныя?—Имѣется кубическій футъ воздуха при 0^0; на сколько надо возвысить температуру, чтобы получить 2 кубическихъ фута воздуха, предполагая, что этотъ газъ имѣетъ одинъ и тотъ же коэффиціентъ расширенія при всѣхъ температурахъ?—Отчего въ натопленной комнатѣ воздухъ у потолка теплѣе, нежели у пола?—Отчего въ самые сильные холода соки, содержащіеся въ сосудахъ деревьевъ, не замерзаютъ? Опредѣлить среднюю температуру при смѣшеніи a фунт. ртути при t^0, b фунт. при s^0 и c фунт. при r^0.—Опредѣлить среднюю температуру смѣси: a фунт. ртути при t^0 и a_1 фунт. масла при t^0, если теплоемкость ртути c, а масла c_1.—a_1 фунт. серебра при t^0 погружены въ b фунт. воды при s^0; общая температура оказалась r^0; какъ велика теплоемкость серебра?—Найти, на сколько удлиняется мѣдная телеграфная проволока, длиною въ 100 верстъ, при измѣненіи температуры отъ наибольшаго зимняго хо-

лода до наибольшаго лѣтняго жара.— Когда должна быть сильнѣе тяга въ печахъ: лѣтомъ или зимою?—Какое произойдетъ измѣненіе въ пламени лампы, если удлинить ея стеклянную трубку?— Объяснить, почему въ приборѣ Дальтона (фиг. 281) не выливается вода изъ муфты *ab* чрезъ нижнее ея отверстіе.—Какую будетъ имѣть температуру жидкій сѣрнистый ангидридъ, помѣщенный въ открытомъ сосудѣ, въ обыкновенномъ комнатномъ воздухѣ?—Питательный насосъ, накачивающій воду въ котелъ паровой машины, преодолѣваетъ сопротивленіе со стороны упругости пара, между тѣмъ какъ тотъ же самый паръ приводитъ въ движеніе машину и всѣ ея части, а, слѣдовательно, и питательный насосъ; какъ объяснить это кажущееся противорѣчіе?—Если бы вода не имѣла инерціи, то могъ ли бы пароходъ, помощію винта или гребныхъ колесъ, принять поступательное движеніе?—Отчего вода скорѣе закипаетъ въ кострулѣ, закрытой крышкой, нежели въ открытой?—Платиновый шаръ, вѣсомъ 1,25 фунта, былъ брошенъ въ раскаленную печь, и когда принялъ ея температуру—былъ извлеченъ и погруженъ въ сосудъ съ водою; какъ велика температура печи, если начальная температура воды была 10^0, конечная 20^0, и вѣсъ ея 4 фунта (не принимая во вниманіе, для простоты, лучеиспусканія нагрѣтаго шара, охлаждающаго дѣйствія воздуха на воду, ея испаренія и проч.)?— Длина нѣкотораго стержня равняется l при t^0; какъ велика будетъ его длина при s^0, полагая, что коэффиціентъ расширенія равенъ k?—Высота барометра при t^0 была h; какъ велика была бы высота при 0^0, при томъ же атмосферномъ давленіи, считая коэф. расширенія ртути равнымъ k?

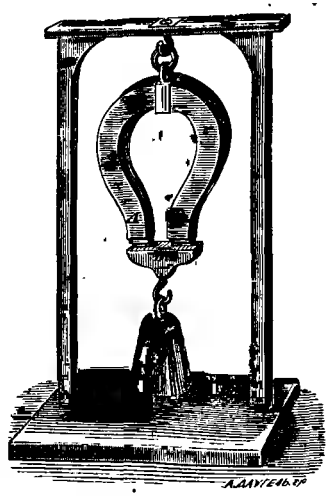
МАГНИТИЗМЪ.

236. Естественный и искусственный магниты. Въ природѣ встрѣчается желѣзная руда, которая имѣетъ свойство притягивать желѣзо. Такъ какъ ни одною изъ извѣстныхъ намъ силъ природы нельзя объяснить это явленіе, то допускаютъ существованіе особой первоначальной причины, которую называютъ *магнитизмомъ*; самую же руду, притягивающую желѣзо,—*естественнымъ магнитомъ*.

Магнитизмъ можно сообщить искусственнымъ образомъ закаленной стали, которая тогда называется *искусственнымъ магнитомъ* и имѣетъ обыкновенно видъ полоски *NS* (фиг. 305), или подковы *AB* (фиг. 306).



Фиг. 305.



Фиг. 306.

Магнитная руда темнобураго или чернаго цвѣта и состоитъ изъ окиси и закиси желѣза; она встрѣчается въ природѣ въ большомъ количествѣ, образуя иногда цѣлыя горы, каковы: Большая Благодать и Малая Благодать на Уралѣ. Названіе свое магнитъ получилъ въ глубокой древности отъ города Магнезіи, въ окрестностяхъ котораго онъ былъ въ первый разъ найденъ.

Магнитъ оказываетъ дѣйствіе не на одно

желѣзо, но еще на чугунъ, сталь, кобальтъ, хромъ, никкель и проч. Съ возвышеніемъ температуры, эти тѣла теряютъ постепенно способность притягиваться магнитомъ: желѣзо, нагрѣтое до краснаго каленія, не притягивается магнитомъ, а никкель—выше 350°.

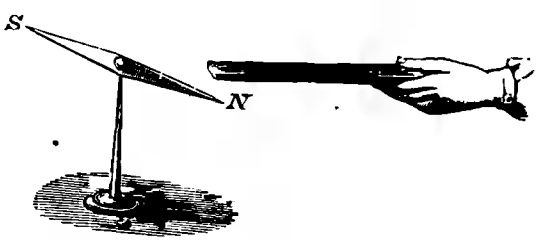
237. Полюсы и точка безразличія. Если будемъ держать искусственный магнитъ SN (фиг. 305) въ рукѣ горизонтально и станемъ прикладывать снизу къ разнымъ точкамъ его кусокъ желѣза m, то замѣтимъ, что притяженіе неодинаково: въ небольшомъ разстояніи отъ концовъ N и S, оно самое сильное; по мѣрѣ приближенія къ серединѣ—уменьшается, а въ самой серединѣ вовсе исчезаетъ. Точки наибольшаго притяженія называются *полюсами* магнита, а точка, гдѣ притяженія совсѣмъ нѣтъ,—*точкою безразличія*.

Если положимъ кусокъ желѣза на пробку, плавающую на водѣ, и приблизимъ магнитъ, то пробка будетъ двигаться къ магниту; обратно, желѣзный стержень съ такою же силою притягиваетъ пробку, когда на ней находится магнитъ, потому что дѣйствіе всегда равно противодѣйствію. Взаимное притяженіе желѣза и магнита, съ увеличеніемъ разстоянія между ними, быстро уменьшается.

238. Два рода полюсовъ. Если привѣсить магнитъ на нитку за его середину, въ горизонтальномъ положеніи (фиг. 307), то замѣтимъ, что, послѣ нѣсколькихъ колебаній, онъ всегда принимаетъ одно и то же опредѣленное направленіе. Въ этомъ положеніи одинъ полюсъ приблизительно указываетъ на сѣверъ, а другой на югъ. Полюсъ магнита, обращенный къ сѣверу, называется *сѣвернымъ* полюсомъ, а противоположный ему—*южнымъ*.

Фиг. 307.

Магнитъ можно уравновѣсить также въ горизонтальномъ положеніи на остріѣ (фиг. 308), и въ этомъ случаѣ онъ направляется однимъ полюсомъ на сѣверъ, а другимъ на югъ. Небольшой магнитъ, повѣшанный на нить, или положенный на остріе, называется *магнитною стрѣлкой* или *магнитною иглой*; обыкновенно ей даютъ видъ



Фиг. 308.

растянутаго ромба (фиг. 308). Самое важное приложеніе магнита—*компасъ*; такъ называется приборъ, употребляемый мореплавателями и путешественниками для приблизительнаго опредѣленія странъ горизонта. Онъ состоитъ изъ магнитной стрѣлки, положенной на остріе и помѣщенной внутри круга, раздѣленнаго на градусы.

239. Соотношеніе полюсовъ. Если приблизимъ сѣверный полюсъ магнита (фиг. 308) къ сѣверному же полюсу N магнитной стрѣлки NS, то конецъ N оттолкнется; приближая южный полюсъ магнита къ сѣверному полюсу стрѣлки, замѣтимъ обратное движеніе: сѣверный полюсъ стрѣлки притянется. Подобнымъ образомъ найдемъ, что южный полюсъ стрѣлки отталкивается южнымъ полюсомъ магнита и притягивается сѣвернымъ. Вообще, одноименные полюсы магнитовъ отталкиваются, а разноименные притягиваются.

Этимъ свойствомъ магнитовъ можно пользоваться для опредѣленія полюсовъ даннаго магнита. Полюсъ магнита приближаютъ къ одному изъ полюсовъ стрѣлки NS, напр. сѣверному. Если замѣтимъ отталкиваніе, то испытуемый полюсъ магнита есть также сѣверный, въ случаѣ притяженія—южный.

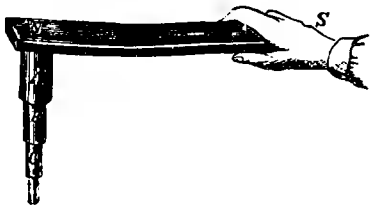
240. Дѣйствіе магнита на желѣзо. Желѣзо ab (фиг. 309) не только притягивается магнитомъ, но, находясь вблизи его, само дѣлается магнитомъ, обнаруживая на одномъ концѣ a полюсъ, разноименный съ ближайшимъ полюсомъ N магнита, а на дальнемъ концѣ b—полюсъ того же имени. Въ этомъ можно убѣдиться, приближая магнитную стрѣлку къ тому или другому концу желѣзнаго стержня ab.

Фиг. 309.

Обнаруженіе магнитизма въ точкѣ a желѣзнаго стержня, ближайшей къ полюсу N магнита, представляетъ нѣкоторую трудность, потому что на приближаемый къ a полюсъ магнитной стрѣлки дѣйствуетъ не только конецъ a желѣзнаго стержня, но и полюсъ N и при томъ въ большей степени.—Надо поступить такимъ образомъ. Сильный магнитъ (фиг. 310) располагаютъ горизонтально, на той же высотѣ ставятъ магнитную стрѣлку ns, которая подъ вліяніемъ магнита принимаетъ нѣкоторое положеніе равновѣсія. Затѣмъ приближаемъ кусокъ желѣза къ тому полюсу s стрѣлки, который обращемъ къ полюсу N магнита. Въ приближаемой части желѣза развивается отъ дѣйствія магнитнаго полюса N южный магнитизмъ, и полюсъ s стрѣлки отталкивается отъ желѣза, чѣмъ и доказывается справедливость вышесказаннаго. Если обратить магнитъ къ стрѣлкѣ противоположнымъ полюсомъ, то стрѣлка обратится къ магниту полюсомъ n. Приближая тогда кусокъ желѣза, можно доказать, что въ приближаемой части возбудился сѣверный полюсъ.

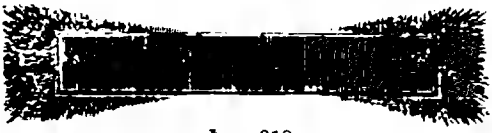
*

Кусокъ желѣза A (фиг. 311), приложенный къ магниту NS и получившій отъ того магнитизмъ, можетъ притянуть другой кусокъ B, который обнаружитъ такое же дѣйствіе на третій C и т. д. Но, какъ только оторвемъ магнитъ отъ перваго желѣзнаго куска A, магнитизмъ во всѣхъ прочихъ уничтожится, и они отпадутъ другъ отъ друга.



Фиг. 311.

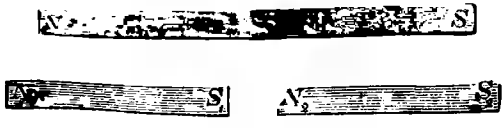
Желѣзныя опилки, прикасаясь къ магниту, пристаютъ къ нему въ видѣ кисти (фиг. 312). Это явленіе легко объясняется на основаніи предыдущаго; каждая опилка, находясь вблизи магнита, намагничивается и притягиваетъ другую желѣзную опилку, дѣлая ее также магнитомъ, а эта, въ свою очередь, притягиваетъ третью и т. д. Изъ этого же опыта видимъ, что сила магнитизма въ разныхъ точкахъ магнита различна, потому что больше всего опилокъ пристаетъ на концахъ магнита, гдѣ находятся полюсы, между тѣмъ какъ въ точкѣ безразличія ихъ почти нѣтъ.


Фиг. 312.

241. Дѣйствіе магнита чрезъ тѣла немагнитныя. Магнитъ дѣйствуетъ на желѣзо не только чрезъ воздухъ, но и чрезъ другія тѣла: бумагу, дерево, металлы и проч. Если на столъ положить желѣзную вещь, напримѣръ вязальную спицу, и проводить полюсомъ сильнаго магнита по нижней сторонѣ крышки стола, то спица будетъ двигаться вслѣдъ за магнитомъ.

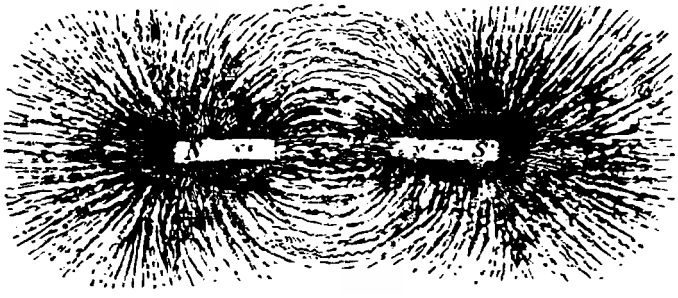
Если магнитъ покрыть бумагой и сыпать на нее съ нѣкоторой высоты желѣзныя опилки, то онѣ намагнитятся и, обратясь одна къ другой разноименными полюсами, расположатся, вслѣдствіе взаимнаго притяженія, по нѣкоторымъ кривымъ линіямъ и ясно обозначатъ положеніе магнита NS подъ бумагой (фиг. 313).

242. Дѣленіе магнита на части. Если магнитъ NS (фиг. 314) въ точкѣ безразличія разрѣзать пополамъ, то получимъ два отрѣзка N_1S_1 и N_2S_2 изъ которыхъ каждый будетъ магнитомъ, имѣя два разноименные полюса и точку безразличія. То же произойдетъ, если магнитъ раздѣлить на три или болѣе частей: каждая часть его будетъ настоящій магнитъ, хотя меньшей силы. Обратно, если два маг-



Фиг. 314.

нита N_1S_1 и N_2S_2 равной силы сложить разнородными полюсами, располагая магниты по прямой линіи, то мы получимъ одинъ магнитъ NS съ двумя полюсами и точкой безразличія, которая будетъ находиться



Фиг. 313.

въ точкѣ прикосновенія разноименныхъ полюсовъ S_1 и N_2. Отсюда объясняется то, повидимому, странное явленіе, что два разнородные полюса N и S_1 (фиг. 315) двухъ магнитовъ не производятъ никакого дѣйствія на желѣзо a. Полюсъ N возбуждаетъ въ ближайшихъ точкахъ a южный магнитизмъ, а полюсъ S_1—сѣверный; оказывая такимъ образомъ противоположныя вліянія, оба полюса вмѣстѣ дѣйствуютъ, какъ точка безразличія, т. е. не намагничиваютъ желѣза и не притягиваютъ его. Можно составить

Фиг. 310.

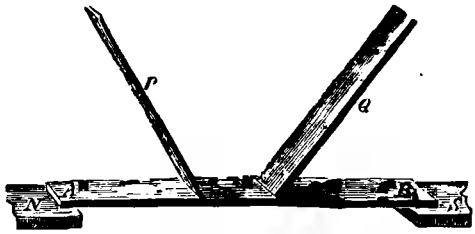
Фиг. 315.

одинъ магнитъ изъ какого угодно числа другихъ магнитовъ, хотя бы разной силы, приводя въ соприкосновеніе полюсы разнаго названія.

243. Дѣйствіе магнита на закаленную сталь. Если приблизить къ магниту пластинку изъ закаленной стали, то она притягивается подобно желѣзу, хотя и не столь сильно; зато отнятая потомъ отъ магнита стальная пластинка сохраняетъ магнитизмъ и сама дѣлается магнитомъ.

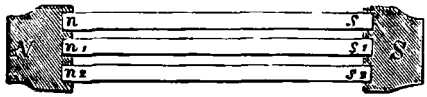
Степень возбужденнаго магнитизма въ стали не можетъ быть произвольно велика, но имѣетъ предѣлъ, называемый *намагничиваніемъ до насыщенія*. Если магнитъ довольно силенъ, а стальная пластинка мала, то однимъ прикосновеніемъ къ магниту она намагничивается до насыщенія. Для намагничиванія большихъ полосъ поступаютъ иначе.

Стальной стержень AB (фиг. 316) кладутъ на два разноименные полюса S и N магнитовъ, потомъ ставятъ на срединѣ его два другіе магнита P и Q, такъ чтобы въ первомъ нижній конецъ имѣлъ сѣверный магнитизмъ, а во второмъ—южный, и проводятъ магнитами по стержню AB, отъ его середины до концовъ. Затѣмъ магниты P и Q подымаютъ, ставятъ опять на середину полосы AB и двигаютъ по прежнимъ направленіямъ. Повторивъ это дѣйствіе нѣсколько разъ, найдемъ въ A южный полюсъ, а въ B сѣверный. Эта метода намагничиванія принадлежитъ Дюгамелю.



Фиг. 316.

244. Системы магнитовъ. Для усиленія дѣйствія, соединяютъ одноименные полюсы нѣсколькихъ магнитовъ ns, n_1s_1 и n_2s_2 (фиг. 317)



Фиг. 317.

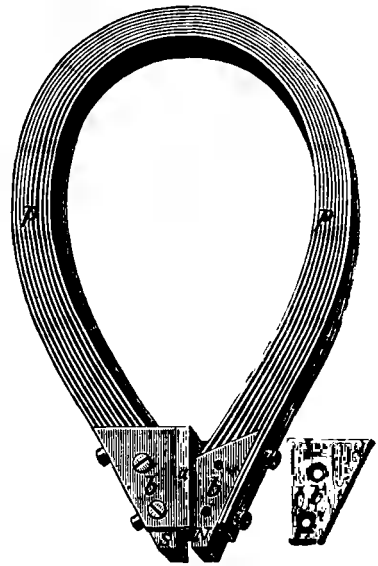
Фиг. 318.

посредствомъ желѣзныхъ оправъ N и S, которыя тогда намагничиваются и служатъ какъ-бы продолженіемъ магнитовъ. Если напр. концы n, n_1 и n_2 имѣли сѣверный магнитизмъ, то въ желѣзѣ около магнитовъ обнаружится южный, а на противоположной части—сѣверный N. Магниты располагаются въ нѣсколько рядовъ, какъ это видно въ системѣ, изображенной на фигурѣ 318 и состоящей изъ 12 магнитовъ.

Искусственнымъ магнитамъ по большей части даютъ видъ подковы (фиг. 306); складывая нѣсколько такихъ подковъ, получаютъ сложный магнитъ, гдѣ общіе полюсы будутъ въ точкахъ A и B. Кусокъ желѣза m, притягиваемый полюсами магнита, называется *якоремъ*; къ нему можно привѣшивать грузы. Подковообразный магнитъ, при одинаковой степени магнитизма съ линейнымъ, можетъ поддерживать бо́льшій грузъ, потому что у него притягиваютъ якорь два полюса, между тѣмъ какъ у линейнаго магнита только одинъ.

Общая сила системы магнитовъ далеко не пропорціональна числу ихъ, но значительно менѣе, потому что магниты, возбуждая одинъ въ другомъ магнитизмъ, ослабляютъ другъ друга. Средніе магниты могутъ при этомъ потерять весь свой магнитизмъ и даже перемагнититься, такъ что, гдѣ былъ южный полюсъ, появится сѣверный, и обратно.— По этой причинѣ, при сохраненіи магнитовъ, чтобы предотвратить уменьшеніе ихъ силы, никогда не должно одноименные полюсы помѣщать близко другъ отъ друга, а напротивъ складывать магниты разноименными полюсами. Искусственный магнитъ можетъ выдерживать нѣсколько пудъ.

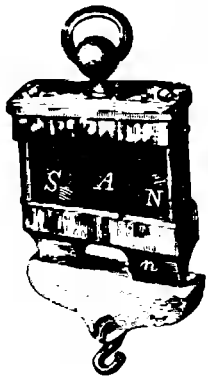
Въ недавнее время Жаменъ убѣдился непосредственно изъ опыта, что магниты, состоящіе изъ толстыхъ стальныхъ полосъ, намагничены только съ поверхности, на небольшую глубину; внутреннія массы ихъ остаются въ естественнонъ состояніи. Изъ этого выходитъ, что, составляя магниты *изъ* тонкихъ отдѣльно намагниченныхъ стальныхъ полосъ, мы должны получить магниты большей силы, чѣмъ сплошные. Фигура 319 изображаетъ подковообразный магнитъ Жамена. Буквой *p* обозначены широкія стальныя ленты не толще 1^{mm}; онѣ согнуты и обращены одноименными полюсами въ одну сторону. Желѣзныя оправы *b* служатъ наконечниками; онѣ, вмѣстѣ съ латунной пластинкой *a*, сдерживаютъ стальныя ленты *p* и не позволяютъ имъ разогнуться. Сближеніе однородныхъ полюсовъ вредитъ ихъ силѣ; поэтому, концы стальныхъ лентъ раздвинуты. Магнитъ Жамена можетъ поддерживать грузъ въ 10 разъ болѣе своего собственнаго вѣса, и болѣе.



Фиг. 319.

Естественные магниты (т. е. магнитная руда) вообще слабѣе искусственныхъ; для увеличенія ихъ силы и удобнѣйшаго употребленія, кусокъ магнитной руды *A* (фиг. 320) оправляютъ въ желѣзо. Пусть въ *N* находится сѣверный магнитизмъ, а въ *S* южный. Желѣзная оправа намагничивается, такъ что въ *n* и въ *m* обнаруживаются соотвѣтственно сѣверный и южный полюсы.

245. Задерживательная сила. Неизвѣстная причина, противодѣйствующая намагничиванію и размагничиванію закаленной стали, называется *задерживательной*. Отъ нея зависитъ количество возбужденнаго магнитизма; чѣмъ она болѣе, тѣмъ бо́льшую силу можетъ получить намагничиваемый стальной стержень. Сталь, незакаленная вовсе, не имѣетъ задерживательной силы, какъ и хорошее мягкое желѣзо; скручиваніе и сжатіе сообщаютъ этимъ веществамъ небольшую задерживательную силу; то же самое производитъ и при-



Фиг. 320.

мѣсь сѣры, мышьяка и проч. Желѣзный стержень, лежащій вблизи магнита и подвергаемый ударамъ молота, пріобрѣтаетъ на нѣкоторое время задерживательную силу и сохраняетъ ненадолго слѣды магнитизма. Напротивъ, удары по магниту уничтожаютъ магнитизмъ. Наибольшую задерживательную силу сталь получаетъ при закаливаніи; чѣмъ выше температура, до которой сталь была нагрѣта, тѣмъ болѣе задерживательная сила. Если закаленную сталь подвергнуть отвариванію, то сила эта уменьшается и при температурѣ краснаго каленія вовсе уничтожается.

Отсюда объясняется слѣдующее явленіе. Если стержень изъ сильно закаленной стали, намагниченный до насыщенія, подвергать нагрѣванію, то, вслѣдствіе уменьшенія задерживательной силы, часть возбужденнаго магнитизма уничтожается; чрезъ это, магнитизмъ стержня ослабляется и не получаетъ прежней силы при охлажденіи. При вторичномъ нагрѣваніи, хотя сила магнита уменьшается, но возвращается почти къ прежней величинѣ при новомъ охлажденіи. Чтобы задерживательная сила не измѣнялась при небольшомъ измѣненіи температуры, магниты приготовляютъ изъ стали, отваренной до большей или меньшей степени, напримѣръ изъ синей; въ этомъ состояніи она представляетъ еще ту выгоду, что не такъ хрупка. Сильно закаленную сталь намагничивать довольно трудно.

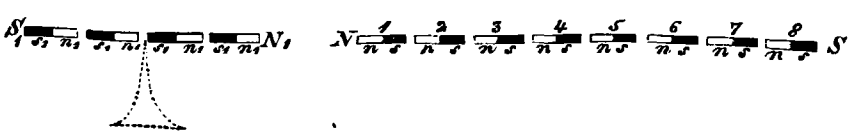
246. Гипотеза магнитныхъ жидкостей. Не зная съ достовѣрностью, что такое магнитизмъ, составили слѣдующую гипотезу или предположеніе о его сущности.

1) Существуютъ двѣ невѣсомыя магнитныя жидкости: сѣверная и южная.

2) Частицы одной и той же жидкости отталкиваются, а разныхъ жидкостей—притягиваются.

3) Магнитныя жидкости размѣщены равномѣрно по всей массѣ магнитныхъ тѣлъ: магнитовъ, желѣза, стали и проч., и хотя могутъ перемѣщаться, но въ весьма ограниченныхъ предѣлахъ, которые называются *магнитными элементами.*

4) Каждый магнитный элементъ содержитъ обѣ жидкости. Когда тѣло не намагничено, то разнородныя магнитныя частицы, вслѣдствіе взаимнаго притяженія, соединены. Въ магнитѣ онѣ разложены, и притомъ такъ, что всѣ сѣверныя жидкости повернуты въ одну сторону, а южныя—въ противоположную. Если 1, 2. 3 .....S (фиг. 321) представляютъ



Фиг. 321.

магнитные элементы весьма тонкаго магнита NS, то къ сѣверному по-

люсу N обращены всѣ сѣверныя магнитныя жидкости n, къ южному S— всѣ южныя s. Части элементовъ, содержащія южныя магнитныя жидкости, сдѣланы на фигурѣ черными, а части, содержащія сѣверныя жидкости—бѣлыми.

5) Дѣйствіе задерживательной силы въ закаленной стали состоитъ въ томъ, что она препятствуетъ магнитнымъ жидкостямъ двигаться, то есть соединяться, когда онѣ разложены, и разлагаться, когда онѣ соединены.

Приложимъ эту гипотезу къ объясненію главнѣйшихъ явленій магнитизма.

Пусть вблизи сѣвернаго полюса N_1 магнитной стрѣлки N_1S_1 (фиг. 321) находится сѣверный полюсъ N магнита NS; магнитъ и стрѣлку можно представить разложенными на магнитные элементы; первый напримѣръ на 8, вторую на 4, при томъ такъ, что сѣверныя жидкости элементовъ повернуты къ сѣвернымъ полюсамъ, а южные къ южнымъ. Жидкости магнита и стрѣлки обнаруживаютъ взаимное дѣйствіе: однородныя жидкости отталкиваются, разнородныя притягиваются. Всѣ сѣверныя частицы n магнита NS отталкиваютъ сѣверныя частицы n_1 стрѣлки N_1S_1 и притягиваютъ южныя частицы s_1. Преобладающее дѣйствіе будетъ отталкиваніе, потому что частицы n ближе къ частицамъ n_1, чѣмъ къ частицамъ s_1. Точно такъ же можно убѣдиться, что преобладающее дѣйствіе частицъ s на частицы n_1 и s_1 стрѣлки—будетъ притяженіе. Изъ этихъ двухъ дѣйствій—притяженія и отталкиванія, которыя обнаруживаютъ частицы n и s на элементы стрѣлки, самое сильное будетъ отталкиваніе, потому что частицы n ближе къ стрѣлкѣ s_1 n_1 чѣмъ частицы s. Поэтому, сѣверные полюсы магнита и стрѣлки должны отталкиваться. Подобнымъ образомъ можно объяснить, почему южные полюсы также взаимно отталкиваются, а сѣверный съ южнымъ притягиваются.

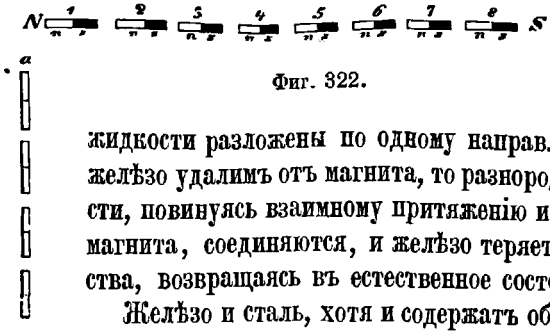
Приблизимъ къ сѣверному полюсу магнита NS фиг. (322) желѣзный стержень ab, и представимъ ихъ, т. е. магнитъ и стержень, разложенными на магнитные элементы: первый на 8, второй—на 4. Жидкости ближайшаго элемента 1 магнита преодолѣютъ взаимное притяженіе разнородныхъ магнитныхъ жидкостей желѣза и разложатъ ихъ. Сѣверная жидкость n элемента 1 притянетъ южныя жидкости на ближайшіе къ себѣ концы элементовъ стержня ab и оттолкнетъ сѣверныя. Южная жидкость s элемента 1 произведетъ обратное дѣйствіе: будетъ поворачивать сѣверныя жидкости къ себѣ, а южныя въ противную сторону. Но какъ сѣверная жидкость элемента 1 ближе къ каждому элементу желѣзнаго стержня ab, нежели южная, то дѣйствіе первой сильнѣе второй, а потому на верхнихъ концахъ всѣхъ элементовъ желѣза

будетъ жидкость южная. Подобное дѣйствіе произведутъ и всѣ прочіе элементы магнита *NS*, то есть притянутъ на верхнія части элементовъ желѣза *ab* южную жидкость и оттолкнутъ внизъ сѣверную. Жидкости желѣзнаго стержня и магнита обнаружатъ потомъ взаимное притяженіе и отталкиваніе, но преобладающимъ будетъ притяженіе, и желѣзный стержень притянется къ магниту.

Перемѣстимъ стержень *ab* ближе къ точкѣ безразличія, напр. поставимъ его между 3-мъ и 4-мъ элементами магнита. Дѣйствія элементовъ 1, 2 и 3 противоположны дѣйствіямъ 4, 5 и 6, потому что первые возбуждаютъ на верху стержня *ab* магнитизмъ сѣверный, а вторые съ такою же силою—южный. Такимъ образомъ, будутъ дѣйствовать только 7 и 8 элементы магнита; слѣдовательно, количество возбужденнаго магнитизма въ желѣзѣ и сила притяженія къ магниту будутъ слабѣе, чѣмъ прежде. Наконецъ, стержень, находясь противъ точки безразличія, не будетъ содержать никакого свободнаго магнитизма и, слѣдовательно, вовсе не притянется къ магниту, потому что магнитные элементы по разныя стороны точки безразличія дѣйствуютъ противоположно и съ одинаковою силою.

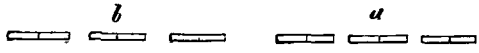
Элементы магнита, взаимно дѣйствуя другъ на друга, разлагаютъ естественный магнитизмъ одинъ въ другомъ, увеличивая чрезъ это количество свободнаго магнитизма. Такъ, элементы 1, 2 и 3 разлагаютъ въ 4-мъ магнитныя жидкости, притягивая сѣверную и отталкивая южную; элементы отъ 5-го до 8-го притягиваютъ въ томъ же элементѣ южную жидкость и отталкиваютъ сѣверную; слѣдовательно, всѣ элементы дѣйствуютъ на 4-ый въ одну сторону, увеличивая въ немъ количество разложенныхъ жидкостей. Такое же дѣйствіе испытываетъ каждый элементъ со стороны прочихъ, хотя не въ одинаковой степени. Сравнимъ для примѣра 2-й и 4-й элементы и для этого перенесемъ мысленно элементы 7-й и 8-й по лѣвую сторону магнита, поставивъ ихъ рядомъ съ элементомъ 1; тогда, очевидно, 2-й элементъ былъ бы въ такихъ же обстоятельствахъ, какъ и 4-й, потому что направо отъ каждаго изъ нихъ было бы 4 элемента и налѣво—3 элемента. На самомъ же дѣлѣ, налѣво отъ элемента 2-го находится только одинъ элементъ 1-й, а направо хотя и 6 элементовъ, но 7-й и 8-й отстоятъ весьма далеко, и, слѣдовательно, дѣйствуютъ на 2-й слабо, а потому во 2-мъ элементѣ меньше будетъ свободнаго магнитизма, нежели въ 4-мъ. Такимъ образомъ, наибольшее количество разложенныхъ жидкостей должно быть въ срединѣ магнита, наименьшее—у краевъ. Когда желѣзный стержень двигается отъ конца магнита къ срединѣ, то хотя нѣкоторые элементы магнита начинаютъ дѣйствовать въ противныя стороны съ другими, но зато стержень приближается къ точкѣ безразличія, гдѣ элементы содержатъ болѣе свободнаго магнитизма. Отъ этого, можетъ случиться, что при небольшомъ удаленіи стержня отъ конца магнита къ срединѣ, притяженіе не только не уменьшится, но увеличится; потомъ, по мѣрѣ увеличиванія числа противодѣйствующихъ элементовъ, дѣйствіе станетъ ослабѣвать до совершеннаго уничтоженія. Отсюда понятно, почему наибольшее притяженіе бываетъ не на концахъ магнита, а въ нѣкоторомъ отъ нихъ разстояніи.

Когда желѣзный стержень приближаютъ къ полюсу магнита, то магнитныя жидкости перваго разлагаются, и онъ самъ дѣлается настоящимъ магнитомъ, ибо магнитъ только тѣмъ и отличается отъ желѣза, что въ немъ магнитныя жидкости разложены по одному направленію. Но какъ только желѣзо удалимъ отъ магнита, то разнородныя магнитныя жидкости, повинуясь взаимному притяженію и неудерживаемыя силою магнита, соединяются, и желѣзо теряетъ свои магнитныя свойства, возвращаясь въ естественное состояніе.



Фиг. 322.

Желѣзо и сталь, хотя и содержатъ обѣ магнитныя жидкости, но не производятъ и не должны производить наружнаго дѣйствія. Дѣйствительно, пусть вблизи желѣзнаго стержня a (фиг. 323) находится другой такой же b, оба разложенные на магнитные элементы. Сѣверная магнитная жидкость стержня a притянетъ южную жидкость стержня b и оттолкнетъ сѣверную; южная жидкость стержня a съ такою же силою притянетъ сѣверную жидкость стержня b и оттолкнетъ южную, потому что въ каждомъ магнитномъ элементѣ стержня a обѣ жидкости, вслѣдствіе взаимнаго притяженія, находятся въ одной и той же точкѣ, и потому одинаково удалены отъ каждаго магнитнаго элемента стержня b. Отъ этого, ни въ стержнѣ a, ни въ стержнѣ b не должно быть свободнаго магнитизма, а, значитъ, и наружнаго дѣйствія.



Фиг. 323.

Въ закаленной стали магнитъ не можетъ разложить такое же количество жидкостей, какъ въ желѣзѣ, потому что разлагающая сила его встрѣчаетъ въ стали сопротивленіе со стороны задерживательной силы, которая препятствуетъ всякому движенію магнитныхъ жидкостей, между тѣмъ какъ въ желѣзѣ она преодолѣваетъ только взаимное притяженіе разнородныхъ жидкостей. Отъ этого, закаленная сталь притягивается слабѣе къ магниту, нежели желѣзо.

Разложеніе магнитныхъ жидкостей въ стали прекращается въ ту пору, когда разлагающая сила магнита будетъ равна взаимному притяженію разложенныхъ жидкостей, сложенному съ задерживательной силой. Назвавъ эти силы соотвѣтственно чрезъ N, Q и R, будемъ имѣть:

$$N = Q + R.$$

Какъ скоро отдалимъ сталь отъ магнита, то останутся только двѣ силы: взаимное притяженіе разложенныхъ жидкостей Q и задерживательная сила R, которыя станутъ теперь дѣйствовать въ противныя стороны, потому что разнородныя частицы стремятся къ соединенію, а задерживательная сила этому пре-

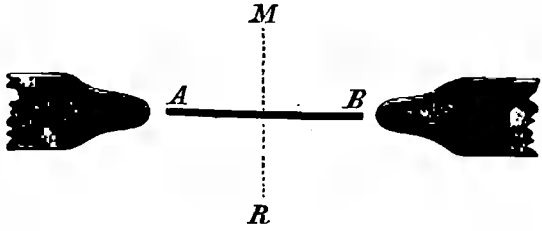
пятствуетъ. Здѣсь можетъ быть три случая. Когда $Q>R$, то жидкости станутъ соединяться до тѣхъ поръ, пока взаимное притяженіе оставшихся жидкостей не будетъ равно R. Если $Q<R$, или $Q=R$, то никакого измѣненія въ магнитизмѣ стали не произойдетъ. Этимъ объясняется, почему сталь, по удаленіи отъ магнита, сохраняетъ свой магнитизмъ, и почему степень магнитизма не безгранична, но имѣетъ предѣлъ, называемый намагничиваніемъ до насыщенія и зависящій отъ задерживательной силы: чѣмъ эта сила болѣе, тѣмъ бо́льшее количество разложенныхъ жидкостей можетъ въ стали сохраниться.

Объяснимъ еще, по гипотезѣ магнитныхъ жидкостей, способъ намагничиванія Дюгамеля. Когда ставимъ на серединѣ стальной полосы AB (фиг. 316) два магнита, то разноименные полюсы производятъ противоположныя дѣйствія: сѣверный полюсъ магнита P возбуждаетъ въ точкѣ касанія южный магнитизмъ, а на концахъ полосы AB—сѣверный; южный полюсъ другого магнита Q возбуждаетъ наоборотъ: въ срединѣ стержня AB магнитизмъ сѣверный, а на концахъ—южный. Но какъ конецъ A ближе къ магниту P, нежели къ Q, то здѣсь будетъ магнитизмъ сѣверный, а на другомъ концѣ B—южный, потому что тамъ дѣйствіе магнита Q сильнѣе магнита P. При удаленіи магнитовъ отъ середины полосы AB, разность въ ихъ дѣйствіяхъ увеличивается; когда же они придутъ на концы стержня AB, то возбуждаемые тамъ магнитизмы будутъ противоположны прежнимъ: въ B обнаружится сѣверный, въ A—южный; при томъ послѣднее дѣйствіе будетъ самое сильное, потому что магниты, находясь въ наибольшемъ другъ отъ друга разстояніи, наименѣе мѣшаютъ одинъ другому разлагать жидкости. Такимъ образомъ, окончательно будетъ преобладать въ B сѣверный магнитизмъ, а въ A южный. Когда поставимъ потомъ снова магниты на середину стержня AB, то дѣйствіе ихъ будетъ противоположно предыдущему, хотя и въ меньшей степени, потому что магниты будутъ дѣйствовать своею разностью, которая теперь, какъ и вначалѣ, очень мала. Доведя магниты до краевъ стержня AB, еще увеличимъ его магнитизмъ.

247. Магнитизмъ и діамагнитизмъ. Магнитъ обнаруживаетъ дѣйствіе не только на желѣзо, но и на другія тѣла, хотя и не столь сильное. Кромѣ того, многія вещества представляютъ явленіе обратное магнитизму, т. е. они магнитомъ не притягиваются, но отталкиваются; такія тѣла называются *діамагнитными*,—въ отличіе отъ *магнитныхъ*, которыя магнитомъ притягиваются. Къ магнитнымъ тѣламъ принадлежатъ: желѣзо, кобальтъ, никкель, палладій, платина, соли магнитныхъ металловъ, кислородъ, окись азота и проч. Изъ діамагнитныхъ веществъ назовемъ: висмутъ, сурьму, цинкъ, олово, ртуть, свинецъ, серебро, мѣдь, золото, водородъ и вообще всѣ металлоиды (кромѣ кислорода) и ихъ соединенія, каковы: вода, спиртъ, сѣроуглеродъ, тѣла органическаго происхожденія, амміакъ и проч.

Для испытанія магнитности и діамагнитности твердыхъ тѣлъ, приближаютъ шарикъ изъ испытуемаго вещества на шелковинкѣ къ полюсу сильнаго магнита, или еще лучше электромагнита [301], потому что электромагниты, какъ это будетъ показано ниже, обладаютъ огромною магнитною силою. Тогда замѣчаемъ, что шарикъ притягивается, или отталкивается; въ первомъ случаѣ вещество магнитно, во второмъ—діамагнитно. Слѣдующій способъ лучше. Между разнородными полюсами N и S (фиг. 324) сильнаго электромагнита, изображеннаго въ горизонтальномъ разрѣзѣ, вѣшаютъ на шелковинкѣ стержень AB изъ испытуемаго вещества. При замыканіи гальванической цѣпи,

въ электромагнитѣ возбудится магнитизмъ,—и стержень, если онъ магнитенъ, принимаетъ направленіе линіи NS, соединяющей магнитные полюсы; такое положеніе стержня называютъ *полярнымъ*. Если вещество стержня діамагнитно, то онъ принимаетъ *экваторіальное* положеніе MR, то есть перпендикулярное къ линіи, соединяющей полюсы.—Жидкости заключаютъ въ стеклянныя трубки и поступаютъ подобнымъ же образомъ.—Испытуемые газы смѣшиваютъ съ небольшимъ количествомъ хлористаго водорода и выпускаютъ чрезъ стеклянную трубку въ пространство между полюсами электромагнита; на пути газа держатъ стеклянную палочку съ каплей нашатырнаго спирта; освобождающійся изъ него амміакъ даетъ съ хлористымъ водородомъ бѣлое облачко и дѣлаетъ, такимъ образомъ, видимымъ испытуемый газъ. Если газъ магнитенъ, то струя его растягивается полярно, въ противномъ случаѣ—экваторіально.



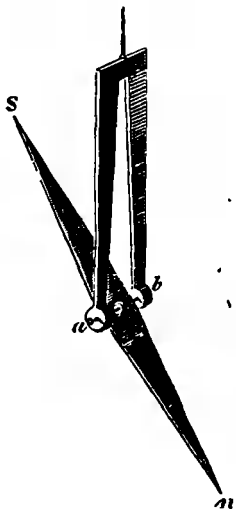
Фиг. 324.

Если между полюсами помѣстить стеклянный ящикъ съ крѣпкимъ растворомъ хлористаго желѣза, обладающаго значительнымъ магнитизмомъ, и въ него погрузить желѣзную палочку, то магнитизмъ желѣза ослабѣваетъ. Взявъ вмѣсто желѣза другія магнитныя вещества, можно достигнуть того, что магнитизмъ вещества совершенно уничтожится, и тѣло изъ магнитнаго можетъ сдѣлаться даже діамагнитнымъ. Такимъ образомъ, магнитизмъ и діамагнитизмъ зависятъ отъ среды. На этомъ основаніи нѣкоторые ученые принимаютъ, что всѣ тѣла природы и пустота магнитны; тѣла, находящіяся въ пустотѣ, кажутся магнитными, если ихъ абсолютный магнитизмъ болѣе абсолютнаго магнитизма пустоты, діамагнитными—въ противномъ случаѣ, и, наконецъ, безразличными, если абсолютные магнитизмы вещества и пустоты равны. Абсолютные магнитизмы—неизвѣстны; можно находить только относительные магнитизмы въ отношеніи среды, напр. пустоты. Если обозначимъ чрезъ 1000000 магнитизмъ желѣза въ отношеніи пустоты, т. е. ту силу, съ которою желѣзный стержень удерживается въ полярномъ положеніи, то магнитизмъ насыщеннаго воднаго раствора хлористаго желѣза, при равномъ вѣсѣ, выразится числомъ 140, кислорода 377; для діамагнитизма воды получимъ, при тѣхъ же условіяхъ, 10, ртути 2 и проч. Магнитизмъ тѣла, помѣщеннаго въ средѣ магнитной, ослабѣваетъ, даже уничтожается и превращается въ діамагнитизмъ; если тѣло въ отношеніи пустоты діамагнитно, то въ средѣ діамагнитной оно сдѣлается еще болѣе діамагнитно. Среда, діамагнитная въ отношеніи пустоты, производитъ обратное дѣйствіе: магнитизмъ тѣлъ, въ нее погруженныхъ, увеличивается, а діамагнитизмъ уменьшается, можетъ обратиться въ нуль и даже сдѣлаться магнитизмомъ.

Магнитизмъ земного шара.

248. Склоненіе и наклоненіе. Магнитная стрѣлка никогда почти не направляется точно съ юга на сѣверъ, но уклоняется нѣсколько къ востоку, или западу. Вертикальная плоскость, проведенная чрезъ

магнитные полюсы стрѣлки, называется *магнитнымъ меридіаномъ*. Уголъ, составляемый меридіанами географическимъ и магнитнымъ, или, что все равно, уголъ, образованный направленіями магнитной стрѣлки и географическаго меридіана, называется *магнитнымъ склоненіемъ*; поэтому и магнитная стрѣлка имѣетъ названіе стрѣлки *склоненія*, въ отличіе отъ магнитной стрѣлки *наклоненія* *ns* (фиг. 325). Эта послѣдняя вращается не на вертикальной оси, а на горизонтальной *ab*, проходящей чрезъ центръ тяжести стрѣлки и перпендикулярной къ магнитному меридіану; поэтому, магнитная стрѣлка наклоненія описываетъ при вращеніи магнитный меридіанъ. Сѣверный полюсъ ея наклоняется въ нашемъ полушаріи внизъ, а въ южномъ—вверхъ. Уголъ, составленный стрѣлкой наклоненія съ горизонтальною плоскостью, называется *магнитнымъ наклоненіемъ*.



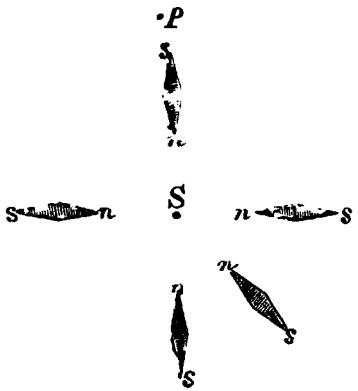
Фиг. 325.

Магнитизмъ земного шара. Чтобы объяснить, почему магнитъ, свободно вращающійся на оси, принимаетъ опредѣленное положеніе въ пространствѣ, допускаютъ, что земной шаръ есть огромный магнитъ, котораго южный полюсъ находится въ сѣверномъ полушаріи, а сѣверный полюсъ—въ южномъ. Это предположеніе оправдывается многими опытами. Если утвердить вертикально желѣзный стержень, то въ нижней части его обнаруживается сѣверный полюсъ, въ верхней части—южный, а по срединѣ—точка безразличія. Такъ бываетъ въ нашемъ полушаріи; въ южномъ наоборотъ: внизу желѣзнаго стержня оказывается южный полюсъ, а вверху—сѣверный. Для полученія наибольшаго дѣйствія, надо поставить стержень въ плоскости магнитнаго меридіана, параллельно стрѣлкѣ наклоненія. Этимъ объясняется, почему желѣзныя массы: крыши, громоотводы, водосточныя трубы и проч. бываютъ всегда намагничены.

Линіи изогоническія и изоклинпческія; магнитные полюсы земли. Магнитное склоненіе въ разныхъ точкахъ земного шара различно и съ теченіемъ времени измѣняется. Такъ, въ Петербургѣ въ 1878 году оно было равно 1°7′ къ западу, а въ Москвѣ около 1° также къ западу. Для наилучшаго обозрѣнія измѣненія склоненія, соединяютъ точки земной поверхности, имѣющія одинаковое склоненіе, линіями, которыя называются *изогоническими*; онѣ имѣютъ одно направленіе съ географическими меридіанами, хотя и не суть окружности, но весьма неправильнаго вида и сходятся въ двухъ точкахъ сѣвернаго и южнаго полушарій, которыя называются *магнитными полюсами* земли:

южный полюсъ лежитъ къ сѣверу отъ Гудсонова залива, сѣверный—въ южномъ полушаріи. Линія съ склоненіемъ 0° или линія *безъ склоненія* проходитъ по Европейской Россіи, въ направленіи съ сѣвера на югъ; мѣстности, лежащія отъ нея къ западу, имѣютъ западное магнитное склоненіе, къ востоку—восточное.

Стрѣлка склоненія на магнитныхъ полюсахъ земли не принимаетъ опредѣленнаго положенія. Въ окружающихъ мѣстностяхъ одноименные полюсы всѣхъ стрѣлокъ направляются къ магнитному полюсу земли; если напр. S (фиг. 326) изображаетъ южный магнитный полюсъ земли, то сѣверные полюсы n, n.... стрѣлокъ обращены къ S; такимъ образомъ, сѣверный полюсъ стрѣлки, помѣщенной между южнымъ магнитнымъ полюсомъ земли S и сѣвернымъ географическимъ полюсомъ P, указываетъ не на сѣверъ, а на югъ.



Фиг. 326.

Наклоненіе, подобно склоненію, неодинаково для разныхъ мѣстъ земного шара и также измѣняется. Такъ, въ Петербургѣ въ 1878 г. оно было равно 70°41′, а въ Москвѣ около 69°.

Линіи, соединяющія мѣста земной поверхности, которыя имѣютъ одно и то же наклоненіе, называются *изоклиническими*; онѣ подобны параллелямъ широтъ, хотя уклоняются отъ нихъ болѣе или менѣе и не суть окружности. Изоклиническая линія съ наклоненіемъ въ 0° называется линіею *безъ наклоненія* и проходитъ вблизи географическаго экватора. Къ югу отъ нея сѣверный конецъ магнитной стрѣлки наклоненія направляется вверхъ, а къ сѣверу—внизъ. На магнитныхъ полюсахъ стрѣлка наклоненія стоитъ отвѣсно.

Склоненіе и наклоненіе, какъ выше сказано, въ одномъ и томъ же мѣстѣ измѣняются. Такъ, въ Парижѣ въ 1580 году стрѣлка склоненія отклонялась на 11°30′ къ востоку; потомъ, это уклоненіе уменьшалось до 1663 года, когда стрѣлка указывала точно на сѣверъ, послѣ чего стала отклоняться къ западу; это отклоненіе все увеличивалось до 1814 года, когда оно было 22°34′, затѣмъ начало уменьшаться и продолжаетъ убывать до сихъ поръ; въ апрѣлѣ 1880 года оно было 16°55′.

Наклоненіе было опредѣлено въ первый разъ въ 1671 году въ Парижѣ и равнялось тогда 75°; съ тѣхъ поръ оно постоянно уменьшается и въ настоящее время имѣетъ только 65°29′.

Кромѣ того, склоненіе и наклоненіе подвержены безпрестаннымъ измѣненіямъ; если будемъ слѣдить за магнитной стрѣлкой помощію точныхъ снарядовъ, то замѣтимъ, что она никогда не бываетъ въ покоѣ, постоянно колеблясь то въ ту, то въ другую сторону около средняго своего положенія. Такимъ образомъ, были открыты правильныя періодическія колебанія: годовыя и суточныя. Наблюдаются еще колебанія случайныя, не слѣдующія, повидимому, никакому закону.

Измѣненіе склоненія и наклоненія указываетъ, что расположеніе изогоническихъ и изоклиническихъ линій и мѣста магнитныхъ полюсовъ земного шара безпрерывно измѣняются.

ЭЛЕКТРИЧЕСТВО.

Электричество отъ тренія.

249. Электричество. Если янтарь, или смолу потереть о шерстяную матерію, то вещества эти пріобрѣтаютъ особенныя свойства: притягиваютъ легкія тѣла, какъ напр. кусочки бумаги, бородку пера; если приблизимъ ихъ къ лицу, то испытываемъ ощущеніе, похожее на то, когда на лицо садится паутина; иногда изъ натираемаго предмета выскакиваетъ искра съ небольшимъ трескомъ; наконецъ, въ воздухѣ распространяется особенный запахъ. Подобныя явленія представляетъ стекло, если потереть его кожею, которая покрыта смѣсью цинковой и оловянной амальгамъ*), и вообще всякое тѣло послѣ тренія о другое. Первоначальная причина всѣхъ этихъ явленій называется *электричествомъ*, а самыя тѣла, находящіяся въ такомъ особенномъ состояніи, — *наэлектризованными*.

Запахъ, замѣчаемый около наэлектризованныхъ тѣлъ, приписываютъ кислороду атмосферы, который, будучи наэлектризованъ, получаетъ особенныя свойства. Онъ дѣйствуетъ тогда на органъ обонянія; соединяется при обыкновенной температурѣ со многими металлами: серебромъ, мѣдью, ртутью; превращаетъ сѣрнистую кислоту въ сѣрную, а азотноватую окись въ азотную кислоту; разлагаетъ іодистый калій, освобождая іодъ, и проч. Въ такомъ состояніи кислородъ называется *озономъ*. Если чистый кислородъ заключить въ стеклянную трубку и пропускать чрезъ него электрическія искры, то нѣкоторая часть его превращается въ озонъ. Никакой другой газъ не представляетъ подобнаго явленія.

250. Проводники и непроводники электричества. Если наэлектризовать кусокъ смолы, или стекла и касаться послѣдовательно, разными его точками, металлическаго шара A (фиг. 327), утвержденнаго на стеклянной подставкѣ m, то шаръ A также пріобрѣтаетъ электрическія свойства, то есть получаетъ способность притягивать легкія тѣла и проч. Вмѣстѣ съ тѣмъ, въ смолѣ эти свойства обнаруживаются уже съ меньшею силою и ослабляются тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе былъ шаръ A.

Фиг. 327.

Изъ этого опыта выходитъ, что электричество можетъ переходить изъ одного тѣла въ другое, на подобіе жидкости, переливаемой изъ одного сосуда въ другой; чѣмъ болѣе ненаэлектризованное тѣло въ отношеніи къ наэлектризованному, тѣмъ менѣе остается электричества въ наэлектризованномъ тѣлѣ. Переходъ электричества можетъ произойти не только при непосредственномъ соприкосновеніи

*) Цинковая амальгама состоитъ изъ цинка и ртути, оловянная — изъ олова и ртути.

тѣлъ, но даже въ томъ случаѣ, когда два тѣла, наэлектризованное и неэлектризованное, соединены металлическимъ прутомъ, пеньковой нитью и другими. Впрочемъ, есть много веществъ, которыя неспособны пропускать чрезъ себя электричество; таковы, напр., шелкъ, сухое дерево и проч.

Отсюда видимъ, что тѣла можно раздѣлить въ отношеніи электричества на *проводники* и *непроводники*. Подъ первыми разумѣютъ тѣла, хорошо проводящія электричество; сюда принадлежатъ металлы. Непроводники или худые проводники суть тѣла, непроводящія вовсе, или слабо проводящія электричество: сухое дерево, смола, парафинъ, каучукъ, шелкъ, стекло и проч. Есть еще тѣла, имѣющія среднюю проводимость и называемыя посредственными проводниками или *полупроводниками* электричества; наприм. бузинная сердцевина, солома, уголь, кислоты, вода, человѣческое тѣло. Газы, подъ обыкновеннымъ атмосфернымъ давленіемъ, совершенно не проводятъ электричества, если только въ нихъ нѣтъ паровъ воды, которые дѣлаютъ ихъ полупроводниками.

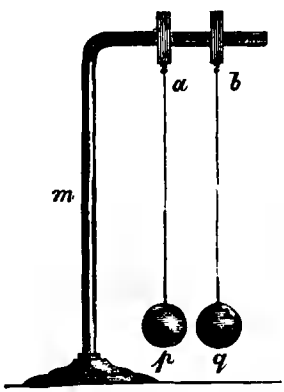
Если наэлектризованный проводникъ сообщить съ землею, касаясь его непосредственно рукою, или металлическимъ прутомъ, который будемъ держать въ рукѣ, то все электричество уйдетъ чрезъ наше тѣло въ землю, потому что земной шаръ чрезвычайно великъ въ сравненіи съ земными предметами. Чтобы удержать электричество, надо отдѣлить наэлектризованный предметъ отъ земли посредствомъ худыхъ проводниковъ, помѣщая его на стеклянную подставку, или вѣшая на шелковую нить. Въ такомъ положеніи тѣло называется *уединеннымъ* или *изолированнымъ*. Въ непроводникѣ электричество уединять излишне, потому что оно теряется только отъ той части тѣла, которая непосредственно соединена съ землею.

Когда уединенное тѣло помѣщено въ сухомъ воздухѣ, то электричество сохраняется довольно долго; напротивъ, влажный воздухъ скоро приводитъ тѣло къ естественному состоянію.

251. Взаимное дѣйствіе наэлектризованныхъ тѣлъ; два рода электричества. Наэлектризованныя тѣла обнаруживаютъ другъ на друга дѣйствія, заключающіяся въ притяженіи и отталкиваніи. Въ этомъ можно убѣдиться посредствомъ прибора, изображеннаго на фигурѣ 328. Стеклянная стойка *m* поддерживаетъ металлическую оправу, къ которой придѣланы два прутика *a* и *b* съ крючками на концахъ. Къ крючкамъ привѣшиваются на шелковинкахъ два шарика *p* и *q* изъ бузинной сердцевины. Если потереть о сукно смоляную палку и коснуться ею обоихъ шариковъ, то они наэлектризуются, оттолкнутся отъ смоляной палки и удалятся другъ отъ друга. Если дотронуться рукою обо-

ихъ шариковъ, то находящееся въ нихъ электричество уйдетъ въ землю, шарики потеряютъ свойство отталкиваться и примутъ отвѣсное положеніе. То же явленіе производитъ стекло, наэлектризованное чрезъ треніе его объ амальгамированную кожу, и вообще всякое наэлектризованное тѣло. Если сначала коснемся одного или обоихъ шариковъ смоляной палкой и потомъ приблизимъ стеклянную, то они къ послѣдней притянутся. Равнымъ образомъ шарики притягиваются смолою, если сначала были наэлектризованы стекломъ. Впрочемъ, повторяя тотъ же опытъ съ другими наэлектризованными тѣлами, не всегда замѣтимъ притяженіе, но иногда и отталкиваніе. Если напр. наэлектризовать шарики смолой и потомъ приблизить писчую бумагу, потертую о сукно, то шарики отъ бумаги оттолкнутся.

Приборъ, изображенный на фигурѣ 329, удобнѣе для опытовъ того же рода. Бузинные шарики p и q привѣшиваютъ на проволокахъ, покрытыхъ лакомъ, къ крючкамъ a и b. Двѣ квадратныхъ пластинки изъ роговаго каучука имѣютъ по срединѣ отверстія, которыми онѣ насаживаются на горизонтальную часть металлической стойки m. Тонкая металлическая оправа облегаетъ по периметру каучуковыя пластинки; къ нимъ то и придѣланы крючки a и b. Электричество, сообщаемое металлическимъ оправамъ, по причинѣ худой электропроводности каучука, можетъ распространяться только по проволокамъ и бузиннымъ шарикамъ. Если сдвинуть пластинки, такъ чтобы оправы пришли въ прикосновеніе, то электричество передается въ оба шарика p и q, и они отталкиваются. Раздвинемъ пластинки и сообщимъ одной оправѣ электричество стекла, а другой электричество смолы,—шарики p и q притянутся.



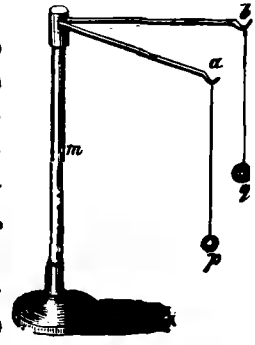
Фиг. 329.

Изъ предыдущаго видимъ, что, *тѣла, наэлектризованныя изъ одного и того же источника, отталкиваются, а изъ разныхъ — либо отталкиваются, либо притягиваются.*

Точныя изслѣдованія показали, что какъ притяженіе, такъ и отталкиваніе прямо пропорціональны количеству электричества и обратно пропорціональны квадрату разстоянія между наэлектризованными тѣлами.

Отталкиваніемъ наэлектризованныхъ тѣлъ объясняется, почему наэлектризованное тѣло, помѣщенное даже въ совершенно сухомъ воздухѣ, постепенно теряетъ свое электричество, хотя газы—непроводники электричества. Частицы воздуха, прилегающія къ поверхности наэлектризованнаго тѣла, заимствуютъ отъ него электричество и отталкиваются, уступая мѣсто другимъ частицамъ, которыя также отымаютъ нѣкоторое количество электричества и, въ свою очередь, отталкиваются, и т. д., пока тѣло не потеряетъ все свое электричество.

Если возбудимъ въ бумагѣ, чрезъ треніе ея о сукно, электричество, то она притягивается съ стеклюмъ, которое натирали амальгамированной кожей, и отталкивается съ смолою, наэлектризованною чрезъ треніе о сукно. Испытывая подобнымъ образомъ всѣ тѣла природы, нашли, что, возбуждаемое въ нихъ чрезъ треніе, электричество притягивается съ однимъ изъ электричествъ: стекла, или смолы и отталкивается съ другимъ электричествомъ. Если, напр., оно притягивается съ электричествомъ смолы, то отталкивается съ электричествомъ стекла, и обратно. Опытъ также показалъ, что электричества, изъ какихъ бы тѣлъ ни были извлечены, если только они обнаруживаютъ отталкиваніе съ электричествомъ смолы, производятъ совершенно одинаковыя явленія и ничѣмъ другъ отъ друга не отличаются; то же самое должно замѣтить относительно тѣхъ электричествъ, которыя обнаруживаютъ отталкиваніе съ электричествомъ стекла. Отсюда видимъ, что электричество бываетъ двухъ родовъ: либо одинаковое съ тѣмъ, которое извлекается изъ стекла, чрезъ треніе его объ амальгамированную кожу, либо одинаковое съ тѣмъ, которое возбуждается въ смолѣ, когда ее трутъ сукномъ. Первое электричество согласились называть *положительнымъ*, второе —*отрицательнымъ*. Такимъ образомъ, на бумагѣ, при треніи ея о сукно, является электричество отрицательное, потому что оно отталкивается съ электричествомъ смолы и притягивается съ электричествомъ стекла.



Фиг. 328.

При треніи одного тѣла о другое, электричество обнаруживается на обоихъ, но когда одно электризуется положительно, то другое отрицательно. Если стекло натираютъ амальгамированной кожей, то на стеклѣ возбуждается электричество положительное, а на кожѣ—отрицательное. Смола, при треніи о сукно, электризуется отрицательно, а сукно—положительно.

Одно и то же тѣло можетъ наэлектризоваться положительно и отрицательно, смотря по тому, чѣмъ натирается. Стекло, натираемое кожею, электризуется положительно, а мѣхомъ кошки—отрицательно. Здѣсь замѣчается слѣдующій законъ: если тѣло A при треніи о тѣло B электризуется положительно, а B отрицательно, и если, кромѣ того, B при треніи о C электризуется положительно, а C отрицательно, то, при треніи A о C, на первомъ получается электричество положительное, а на C отрицательное. Такъ, мѣхъ кошки электроположителенъ съ деревомъ, которое въ свою очередь электроположительно съ шелкомъ; слѣдовательно, мѣхъ кошки долженъ быть также электроположителенъ съ шелкомъ.

На этомъ основаніи всѣ тѣла природы можно расположить въ рядъ, въ которомъ каждое предыдущее тѣло, при треніи съ каждымъ изъ послѣдующихъ, электризуется положительно. Вотъ нѣсколько тѣлъ, расположенныхъ въ такомъ порядкѣ:

+	
Мѣхъ кошки.	Бумага.
Полированное стекло.	Шелкъ.
Шерстяная матерія.	Смола.
Перо.	Матовое стекло.
Дерево.	—

Изъ этого ряда видимъ, что на родъ электричества оказываетъ вліяніе даже поверхность трущихся тѣлъ; такъ, полированное стекло въ отношеніи шелка электроположительно, а матовое—электроотрицательно. Даже температура имѣетъ здѣсь значеніе: теплое тѣло при треніи о холодное электризуется отрицательно, а холодное—положительно.

Если уединенному проводнику A (фиг. 328) сообщимъ положительное электричество и вслѣдъ затѣмъ будемъ постепенно присоединять отрицательное, то шаръ A мало по малу потеряетъ положительное электричество и, наконецъ, зарядится отрицательно. Отсюда выходитъ, что разноименныя электричества, будучи соединены въ нѣкоторой пропорціи, взаимно уничтожаются и такимъ образомъ не даютъ никакого электричества.

Такія количества разнородныхъ, взаимно уничтожающихся электричествъ условились считать равными; слѣдовательно, обозначивъ одно изъ нихъ, напримѣръ количество положительнаго электричества чрезъ $+E$, надо для другого принять—E, потому что, по алгебрическому знакоположенію:

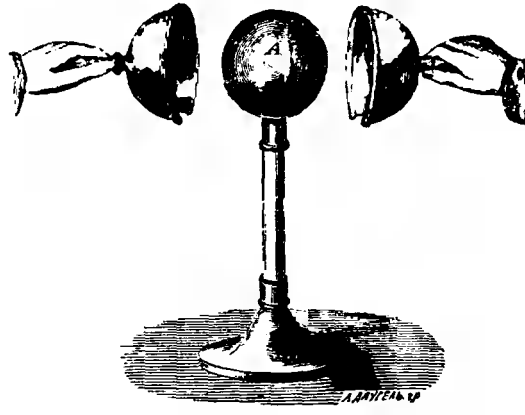
$$(+E)+(-E)=O.$$

Фиг. 330.

252. Электроскопъ. На отталкиваніи тѣлъ, наэлектризованныхъ одноименно, основано устройство *электроскопа*—прибора, служащаго для обнаруживанія присутствія электричества. Онъ состоитъ изъ стекляннаго сосуда A (фиг. 330), чрезъ горло котораго проходитъ металлическій прутъ a съ шарикомъ b; къ пруту прикрѣплены двѣ соломенки, или двѣ весьма тонкія золотыя пластинки m. Если сообщить шарику электричество, то оно пройдетъ въ пластинки и отклонитъ ихъ одну отъ другой. Смотря по тому, отклоняются, или не отклоняются золотыя пластинки, можно судить о присутствіи электричества и даже о его количествѣ, потому что чѣмъ болѣе электричества сообщимъ электроскопу, тѣмъ пластинки m болѣе разойдутся.

253. Распространеніе электричества по поверхности.

Представимъ себѣ металлическій шаръ *A* (фиг. 331), уединенный на стеклянной подставкѣ, и два полыя, также металлическія съ стеклянными ручками полушарія, которыя можно плотно наложить на шаръ. Наэлектризовавъ шаръ, накладываютъ на него полушарія; если потомъ опять отнять ихъ, сдѣлавъ это быстро и въ одно время, то электричество изъ шара исчезнетъ, между тѣмъ какъ полушарія будутъ наэлектризованы. Отсюда выходитъ, что электричество распространяется только по поверхности проводниковъ, не проникая во внутрь ихъ, потому что въ противномъ случаѣ, послѣ снятія полушарій, мы нашли бы въ шарѣ *A* электричество.



Фиг. 331.

Свойствомъ электричества распространяться только по поверхности тѣлъ объясняется, почему, при соприкосновеніи тѣлъ, электричество распредѣляется въ зависимости отъ величины ихъ поверхности. Если напримѣръ касаться наэлектризованнымъ тѣломъ другого ненаэлектризованнаго, несравненно большей поверхности, то первое потеряетъ почти все свое электричество, которое перейдетъ во второе тѣло. По поверхности шара электричество распространяется равномѣрно; на всякой другой поверхности оно преимущественно накопляется на выдающихся частяхъ *a* и *b* (фиг. 332), и тѣмъ въ большей степени, чѣмъ эти части острѣе.

254. Напряженіе электричества. *Напряженіемъ* электричества называется количество электричества на единицѣ поверхности. Изъ этого опредѣленія выходитъ:

Если на двухъ подобныхъ тѣлахъ, (напр. шарахъ), находится одно и то же количество электричества, то напряженіе будетъ на томъ изъ нихъ болѣе, котораго поверхность менѣе.

Если поверхности тѣлъ равны, то напряженіе на томъ изъ нихъ болѣе, на которомъ электричества болѣе.

Фиг. 332.

Если на малой поверхности накопляется много электричества, то оно пріобрѣтаетъ столь большое напряженіе, что преодолѣваетъ сопротивленіе воздуха и выходитъ изъ

тѣла. На концахъ остріевъ, по причинѣ весьма малой ихъ поверхности, напряженіе можетъ быть весьма сильно, хотя бы въ тѣлѣ было мало электричества. Поэтому, когда хотятъ, чтобы электричество сохранилось въ проводникахъ долѣе, имъ даютъ видъ шара, или цилиндра съ закругленными концами; они могутъ быть при томъ полыми, а не сплошными, потому что электричество распространяется только по поверхности тѣлъ.

255. Гипотеза электрическихъ жидкостей. Не имѣя средствъ узнать съ достовѣрностью, что такое электричество, допускаютъ слѣдующую гипотезу или предположеніе о сущности этой первоначальной причины.

1) Электричество есть жидкость и бываетъ двухъ родовъ: одно называется *положительнымъ*, а другое—*отрицательнымъ*. Частицы однородныя отталкиваются, а разнородныя притягиваются.

2) Въ каждомъ тѣлѣ, въ его естественномъ состояніи, находятся оба электричества; по причинѣ своихъ противоположныхъ свойствъ, они, подобно разноименнымъ магнитнымъ жидкостямъ, не производятъ никакого наружнаго дѣйствія.

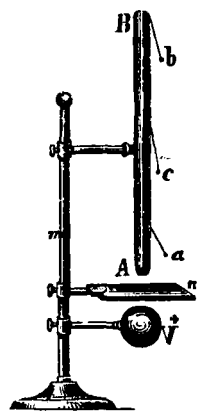
3) Треніе есть одинъ изъ способовъ разложить электричество, и притомъ такъ, что на одномъ изъ трущихся тѣлъ является положительное электричество, а на другомъ — отрицательное.

Частицы однороднаго электричества, вслѣдствіе взаимнаго отталкиванія, стремятся удалиться одна отъ другой какъ можно болѣе, и потому распространяются только по поверхности тѣла, накопляясь преимущественно на остріяхъ.

Электричество чрезъ вліяніе.

256. Электричество чрезъ вліяніе. Возбуждать электричество можно не однимъ треніемъ, но и другими способами. Такъ, напримѣръ, на всякомъ проводникѣ, помѣщенномъ вблизи наэлектризованнаго тѣла, появляется электричество. Чтобы убѣдиться въ этомъ, употребляютъ обыкновенно приборъ, изобрѣтенный Риссомъ. Этотъ приборъ состоитъ изъ металлическаго шара V (фиг. 333) и такого же цилиндра AB, прикрѣпленныхъ, посредствомъ стеклянныхъ стержней, къ стеклянной подставкѣ m. На концахъ цилиндра и въ срединѣ его вдѣланы крючки, на которые вѣшаютъ проволоки a, c и b съ шариками на концахъ. Вслѣдствіе собственнаго вѣса, проволоки принимаютъ отвѣсное положеніе. Если сообщить шару V какое нибудь электричество, напримѣръ положительное, то крайнія проволоки a и b отклонятся отъ отвѣснаго положенія, а средняя c останется въ покоѣ. Если потремъ смоляную палку сук-

номъ и станемъ приближать къ проволокамъ a и b, то замѣтимъ, что первая a отталкивается смоляной палкой, а вторая b—притягивается. Приближая стеклянную палку, которую предварительно натремъ амальгамированной кожей, найдемъ обратное явленіе: проволока a притянется, а b—оттолкнется. Касаясь шарикомъ электроскопа, верхняго и нижняго концовъ цилиндра AB, замѣтимъ присутствіе электричества, между тѣмъ какъ въ срединѣ никакого электричества не окажется. Если дотронемся шара V рукою, то электричество уйдетъ изъ него въ землю, и проволоки a и b примутъ прежнее отвѣсное положеніе. Изъ этихъ опытовъ слѣдуетъ заключить, что положительное электричество шара V возбуждаетъ на ближайшей части проводника AB электричество отрицательное, а на отдаленной—положительное.—Отрицательное электричество, сообщенное тѣлу V, произвело бы обратное дѣйствіе; на ближайшемъ концѣ возбудило бы электричество положительное, на отдаленномъ—отрицательное.



Фиг. 333.

Сообщимъ снова положительное электричество шару V; проволоки a и b опять отклонятся. Коснемся рукою верхняго конца B цилиндра; тогда проволока b опустится, c—нѣсколько отклонится, а отклоненіе проволоки a увеличится. Изслѣдуя проволоки смоляной палкой, натертой сукномъ, легко убѣдиться, что весь цилиндръ AB наэлектризованъ однимъ отрицательнымъ электричествомъ. Слѣдовательно, положительное электричество цилиндра ушло въ землю, а отрицательное осталось, заняло, повидимому, большее противъ прежняго пространство и пріобрѣло большее напряженіе. Касаясь рукою шара V, замѣтимъ, что проволока b снова отклонится, проволока c сохранитъ свое положеніе, но a немного опустится; теперь, слѣдовательно, электричество равномѣрно распредѣлено по всему цилиндру AB.

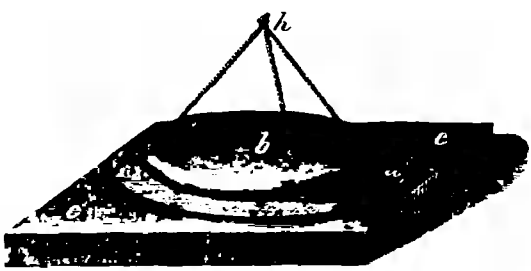
Если, наконецъ, соединить цилиндръ AB съ землею, то—E уйдетъ въ землю, и всѣ проволоки станутъ отвѣсно.

Эти явленія можно объяснить при помощи гипотезы электрическихъ жидкостей. Пусть шаръ V заряженъ положительнымъ электричествомъ. Положительное электричество цилиндра отталкивается положительнымъ электричествомъ шара V и уходитъ въ землю, какъ скоро коснемся верхняго конца цилиндра рукою, между тѣмъ какъ отрицательное электричество того же цилиндра удерживается притяженіемъ $(+E)$ шара и скопляется внизу цилиндра; поэтому говорятъ, что $(-E)$ цилиндра

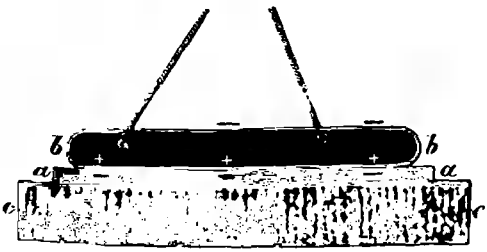
находится въ *связанномъ состояніи*. Положительное и отрицательное электричества цилиндра дѣйствуютъ на проволоки въ противоположныя стороны; по удаленіи $+E$ въ землю, $-E$ заставитъ нижнюю проволоку a еще болѣе отклониться; проволока c, на которую прежде $+E$ и $-E$ дѣйствовали одинаково, но въ противныя стороны, также выйдетъ изъ своего отвѣснаго положенія. Если коснемся теперь рукою шара V, чтобы $+E$ его ушло въ землю, то $-E$, не будучи связано, распространится по всему цилиндру; отъ этого, нижняя проволока a нѣсколько опустится, b — отклонится, а c останется въ прежнемъ положеніи.

Итакъ, наэлектризованное тѣло, находясь вблизи проводника, возбуждаетъ два электричества: на отдаленной части проводника одноименное, на ближайшей—разноименное, и удерживаетъ послѣднее въ связанномъ состояніи. Электричество, возбужденное такимъ образомъ, называется *электричествомъ чрезъ вліяніе*, въ отличіе отъ электричества, производимаго треніемъ [249].

На электричествѣ чрезъ вліяніе основано устройство многихъ приборовъ, между которыми замѣчательны: электрофоръ, электрическая машина, лейденская банка и конденсаторъ.



Фиг. 334.

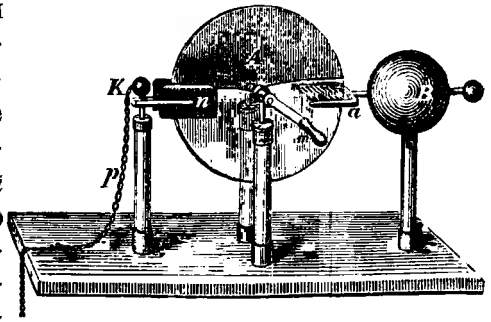


Фиг. 335.

257. Электрофоръ. *Электрофоръ* для ясности изображенъ на фигурахъ 334 и 335: на первой въ перспективѣ, на второй—въ разрѣзѣ. Онъ состоитъ изъ смоленого или каучуковаго круга a, наложеннаго на деревянную доску c, и папковаго круга b, оклееннаго оловяннымъ листомъ. Если потереть смолу кошачьимъ мѣхомъ, или ударять лисьимъ хвостомъ, то она наэлектризуется отрицательно. Положимъ теперь на ея поверхность папковый кругъ b; онъ коснется смолы въ нѣсколькихъ точкахъ (по крайней мѣрѣ въ трехъ), отъ которыхъ отыметъ электричество; во всѣхъ про-

чихъ точкахъ смолы электричество сохранится и не перейдетъ въ кругъ, такъ какъ оно находится въ худомъ проводникѣ, по которому не можетъ двигаться. Смоляная поверхность, наэлектризованная отрицательно, будучи уединена отъ круга b тонкимъ слоемъ воздуха, возбудитъ въ кругѣ электричество: внизу—положительное, вверху—отрицательное. Если мы приложимъ палецъ къ кругу, то—E уйдетъ въ землю, а $+E$ останется, потому что находится въ связанномъ состояніи [256]. Но когда подымемъ кругъ b посредствомъ шелковыхъ снурковъ h, то положительное электричество круга сдѣлается свободнымъ, а потому, приближая къ кругу палецъ, получимъ искру. Опытъ можно повторить сколько угодно разъ почти безъ всякаго уменьшенія силы электричества. Для этого кругъ b опять кладутъ на смолу и, отведя отрицательное электричество въ землю, подымаютъ помощію снурковъ h; приблизивъ руку къ кругу b, снова получимъ искру.

258. Электрическая машина. Электрическая машина даетъ средство получать электричество въ большомъ количествѣ. Главная часть ея—стеклянный кругъ A (фиг. 336), вращающійся на оси и приводимый въ такое движеніе рукояткою m; къ нему придавливаются помощію пружинъ деревянныя пластинки n, покрытыя амальгамированною кожею и называемыя подушками. Вслѣдствіе тренія круга о подушки, стекло электризуется положительно, кожа — отрицательно. Электричество стекла дѣйствуетъ чрезъ вліяніе на часть a электрической машины, называемую *гребенкой* и состоящую изъ раздвоеннаго металлическаго стержня, усаженнаго остріями. На остріяхъ гребенки является электричество отрицательное, которое легко преодолѣваетъ сопротивленіе воздуха [254] и переходитъ на стекло; здѣсь разнородныя электричества гребенки и круга соединяются, и кругъ теряетъ свое электричество, возвращаясь такимъ образомъ къ естественному состоянію. Между тѣмъ $+E$ гребенки переходитъ въ мѣдный уединенный шаръ B, называемый *кондукторомъ*, гдѣ все болѣе и болѣе накопляется. Въ то же время — E кожи, уединенной стеклянымъ столбикомъ, накопляется въ мѣдномъ шарикѣ K, изъ котораго отводится въ землю металлическою цѣпочкою p.



Фиг. 336.

Какъ бы ни былъ сухъ воздухъ, всегда въ немъ есть пары воды,

увеличивающіе его проводимость, а потому электричество изъ кондуктора постепенно переходитъ въ воздухъ, и тѣмъ въ большемъ количествѣ, чѣмъ сильнѣе напряженіе его на кондукторѣ. Кромѣ того, частицы воздуха, прилегающія къ поверхности кондуктора, отнимаютъ у него электричество, потомъ отталкиваются и замѣняются другими частицами, которыя также электризуются, и т. д. [251]. Эта потеря вознаграждается дѣйствіемъ стекляннаго круга, и если притокъ электричества изъ гребенки въ кондукторъ больше потери, то напряженіе электричества въ кондукторѣ увеличивается. Наибольшее накопленіе будетъ въ то время, когда электричества будетъ столько же прибывать, сколько и теряться; хотя бы потомъ продолжали вращать съ прежней скоростью кругъ электрической машины, количество электричества въ кондукторѣ не увеличится. Отсюда ясно, что заряженіе кондуктора тѣмъ сильнѣе, чѣмъ суше воздухъ. Для уменьшенія потери электричества въ воздухѣ, стеклянный кругъ *A* покрываютъ шелковою матеріею.

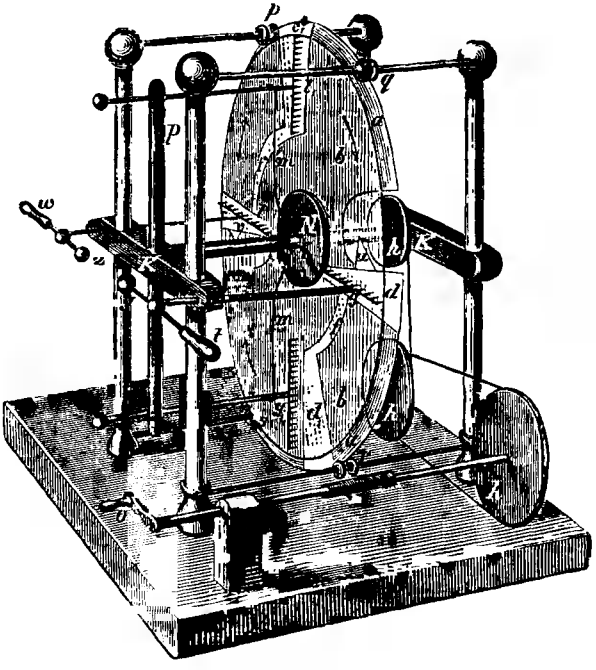
Съ увеличеніемъ поверхности кондуктора напряженіе электричества уменьшается, потому что тогда электричество выходитъ въ воздухъ чрезъ большее число точекъ; количество же электричества, накопляющагося при этомъ на кондукторѣ, можетъ увеличиться, впрочемъ, до нѣкотораго предѣла, такъ какъ при слишкомъ большомъ кондукторѣ много электричества теряется въ воздухѣ. Поэтому, малый кондукторъ даетъ длинную (напряженіе) и тонкую (количество) искру; съ увеличеніемъ кондуктора искра дѣлается короче и толще, впрочемъ до извѣстнаго предѣла, за которымъ искра становится короче и тоньше.

259. Электрофорная машина Гольца. Въ 1865 году, Теплеръ и Гольцъ, почти одновременно и независимо одинъ отъ другого, изобрѣли особенный родъ электрическихъ машинъ, называемыхъ *электрофорными*, потому что онѣ основаны на томъ же началѣ, какъ и электрофоръ: для полученія электричества не нужно постоянно производить треніе, но достаточно однажды наэлектризовать нѣкоторую часть электрофорной машины. Существуетъ нѣсколько видовъ ея; мы разсмотримъ одинъ изъ видовъ, предложенныхъ Гольцемъ.

Электрофорныя машины даютъ гораздо болѣе электричества, чѣмъ машины отъ тренія.

Главныя части электрофорной машины Гольца—два стеклянные круга *aa* и *bb* (фиг. 337). Кругъ *aa* утвержденъ неподвижно въ точкахъ: *p*, *q*, *r* и *s*; въ срединѣ его сдѣлана круглая вырѣзка, чрезъ которую пропущена ось съ двумя кружками *N* изъ рогового каучука, для зажиманія подвижного круга *bb*. Помощію рукоятки *o* и блоковъ *h*, *h*, *h*, соединенныхъ безконечными ремнями, кругъ *bb* приводится въ быстрое вращательное движеніе, по направленію, показанному на фигурѣ стрѣлками. Оба круга *aa* и *bb* и вообще всю машину поддерживаютъ четыре стеклянные столба, связанные оправами *K* и *K* изъ рогового каучука, и стеклянными палками, средины которыхъ *p*, *q*, *r* и *s* служатъ точками опоры для неподвижного круга *aa*. Въ неподвижномъ кругѣ *aa* сдѣланы двѣ горизонтальныя, діаметрально противоположныя вырѣзки; нижній край одной и верхній другой вырѣзки оклеены снаружи бумажками *d* и *c*, къ которымъ прикрѣплены острые бумажные или фольговые язычки *u*

и v, почти касающіеся своими остріями внутренней или обращенной къ нимъ стороны подвижного круга bb. Противъ бумажекъ d и c, по другую сторону подвижного круга bb, вблизи его, устанавливаютъ гребенки g и l, то есть металлическіе прутья, усаженные остріями; гребенки соединены металлическими прутьями съ шариками y и z, которые по желанію можно сдвигать и раздвигать помощію ручекъ t и w.—Чтобы пустить машину въ дѣйствіе, приводятъ во вращательное движеніе подвижной кругъ bb, въ сторону, противоположную направленію язычковъ u и v, и приближаютъ къ одной изъ бумажныхъ обкладокъ, наприм. къ d, каучуковую пластинку, наэлектризованную чрезъ треніе лисьимъ хвостомъ. Спустя нѣсколько времени, когда начинаютъ слышать шумъ, происходящій отъ истеченія электричества изъ гребенокъ g и l, пластинку принимаютъ и, не переставая вращать рукоятку o, раздвигаютъ постепенно шарики y и z, между которыми является рядъ столь быстро слѣдующихъ одна за другою искръ, что свѣтъ кажется непрерывнымъ. Въ сильныхъ машинахъ искры не перестаютъ перескакивать, когда шарики удалятся другъ отъ друга на 14 дюйм. и болѣе. Въ темнотѣ явленіе весьма красиво; свѣтъ красноватъ и имѣетъ овальную форму. Въ то же время замѣчаемъ на остріяхъ гребенки l свѣтлыя точки; съ остріевъ другой гребенки g исходятъ вверхъ, то есть въ сторону противоположную движенію, свѣтлыя полосы на подвижной кругъ.



Фиг. 337.

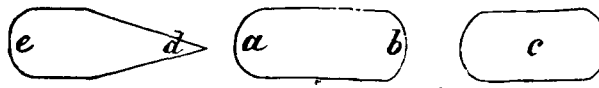
Объясненіе дѣйствій электрофорной машины основано на особенностяхъ электризаціи непроводника, помѣщеннаго между наэлектризованнымъ тѣломъ и металлическимъ остріемъ. Пусть ab (фиг. 338) непроводникъ, c—отрицательно наэлектризованное тѣло, d—остріе проводника de. Подъ вліяніемъ $(-E)$ тѣла c, во всѣхъ частицахъ непроводника ab возбудится (E): на сторонахъ ихъ, обращенныхъ къ c $(+E)$, а на противоположныхъ $(-E)$, на подобіе разложенія магнитныхъ жидкостей въ магнитныхъ элементахъ желѣзнаго стержня, помѣщеннаго вблизи магнита, какъ это изображено на фигурѣ 339, представляющей одинъ рядъ наэлектризованныхъ частицъ непроводника ab (фиг. 338). То же произойдетъ въ проводникѣ ed; если

*

при томъ онъ совершенно хорошо проводитъ электричество, то разнородныя электричества смежныхъ частицъ тотчасъ же соединятся и дадутъ нуль электричества, такъ что наэлектризованы будутъ только концы тѣла *de*: на *d* будетъ $(+E)$, на *e* $(-E)$. Затѣмъ, подъ вліяніемъ электричества тѣла *c*, въ частицахъ тѣла *de* снова возбудится электричество, опять произойдетъ соединеніе разнородныхъ электричествъ во всѣхъ точкахъ проводника *de*, кромѣ концовъ *d* и *e*, и т. д. Такимъ образомъ, въ проводникѣ *de* электричество будетъ накопляться преимущественно на концахъ, постепенно ослабѣвая отъ концовъ къ серединѣ. Въ непроводникѣ *ab* подобнаго соединенія разложенныхъ электричествъ смежныхъ частицъ быть не можетъ (совершенно такъ же въ магнитѣ, магнитныя жидкости не переходятъ изъ одного магнитнаго элемента въ другой). Такъ какъ нѣтъ абсолютныхъ проводниковъ и непроводниковъ— всѣ вещества въ большей или меньшей степени проводятъ электричество,—то въ каждомъ тѣлѣ электризація бываетъ двухъ родовъ: накопленіе электричества на концахъ и въ частицахъ. Чѣмъ лучше проводникъ, тѣмъ болѣе является электричества на концахъ. Такимъ образомъ, на проводникѣ *de* должно получиться гораздо болѣе свободнаго электричества на концахъ, нежели на проводникѣ *ab*. Положительное электричество острія *d* перейдетъ на сторону *a* непроводника *ab*, уничтожитъ находящееся тамъ $(-E)$ и наэлектризуетъ *a* положительно. Слѣдовательно, въ разсматриваемомъ случаѣ, обѣ стороны *a* и *b* непроводника будутъ имѣть свободное $(+E)$. Приложимъ теперь сдѣланные выводы къ машинѣ Гольца. Если бумажка *d* (фиг. 337) заряжена отрицательно, то обѣ стороны подвижного круга *bb* наэлектризуются положительно, потому что кругъ *bb* есть непроводникъ, помѣщенный между наэлектризованнымъ тѣломъ *d* и остріями *g*; на шарикѣ *y* въ то же время явится $(-E)$. При вращеніи круга *bb*, всѣ части внутренней стороны его, проходя послѣдовательно мимо бумажки *d* и остріевъ *g*, будутъ электризоваться и, достигнувъ бумажки *c*, зарядятъ ее, при помощи острія *v*, положительно. Наэлектризованная положительно, бумажка *c* окажетъ подобное же дѣйствіе, что и *d*: она зарядитъ обѣ стороны подвижного круга отрицательно, а на шарикѣ *z* дастъ свободное $(+E)$.—Электричества внутренней стороны подвижного круга частію теряются въ воздухъ, частію въ бумажки *d* и *c*, гдѣ такимъ образомъ вознаграждается убыль электричествъ. Вначалѣ замѣчаются только слабые слѣды электричества; но, по мѣрѣ вращенія круга *bb*, внѣшняя сторона его все сильнѣе и сильнѣе электризуется: нижняя часть будетъ содержать свободное положительное электричество, которое нейтрализуется отрицательнымъ электричествомъ гребенки *l*, а отрицательное электричество верхней части уничтожается положительнымъ электричествомъ гребенки *g*. Неподвижный кругъ *aa* имѣетъ, вѣроятно, то же значеніе, что шелковая покрышка въ обыкновенныхъ машинахъ, то есть онъ предохраняетъ внутреннюю сторону круга *bb* отъ соприкосновенія съ большими массами воздуха. Для увеличенія электризаціи круга *bb*, на кругъ *aa* наклеиваютъ еще двѣ бумажки c_1 и d_1, соединенныя бумажными полосками *f* и *f* съ бумажками *c* и *d*. Противъ c_1 и d_1 устанавливаютъ гребенки l_1 и g_1, поддерживаемыя каучуковымъ стержнемъ *P*; разнородныя электричества нейтрализуются чрезъ прутъ *mm*.—Мы разсмотрѣли машину съ двумя вырѣзками въ неподвижномъ кругѣ; существуютъ машины съ четырьмя или болѣе вырѣзками; соразмѣрно увеличиваютъ и число гребенокъ.

Съ электрической машиной можно дѣлать весьма много опытовъ.

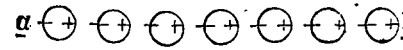
260. Опытъ съ пламенемъ. Вслѣдствіе отталкиванія частицъ воздуха отъ кондуктора, получается струя наэлектризованнаго воздуха, которую можно даже ощущать рукою; но всего лучше убѣдиться въ этомъ, приближая къ выдающейся части кондуктора пламя свѣчи, которое тогда



Фиг. 338.

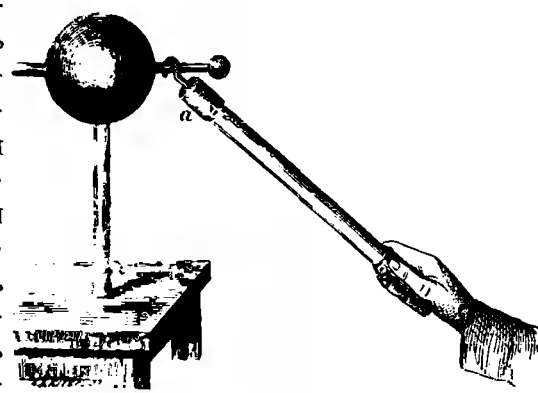
отклоняется и можетъ даже потухнуть при сильномъ напряженіи электричества.

261. Теченіе электричества чрезъ газы. Газы при обыкновенномъ давленіи оказываютъ весьма большое сопротивленіе теченію электричества, но, по мѣрѣ



Фиг. 339.

ихъ разрѣженія, проводимость увеличивается. Для доказательства берутъ стеклянную трубку (фиг. 340) съ металлическими оправами *a* и *b* на концахъ; трубку можно наполнить какимъ нибудь газомъ; одну оправу *b* держатъ въ рукѣ, а другою касаются кондуктора электрической машины. Приводя во вращательное движеніе стеклянный кругъ и дѣлая опытъ въ темнотѣ, мы не замѣчаемъ въ трубкѣ никакого явленія. Но если, помощію воздушнаго насоса, разрѣдить содержащійся въ трубкѣ газъ, то электричество свободно пробѣгаетъ чрезъ трубку и руку въ землю и газъ накаливается; отъ этого, въ трубкѣ является свѣтъ, котораго цвѣтъ зависитъ отъ вещества газа; такъ, въ воздухѣ свѣтъ бѣлый съ синимъ оттѣнкомъ, въ азотѣ—пурпуровый, въ углекисломъ газѣ—зеленый и проч.



Фиг. 340.

Если электричество течетъ между двумя металлическими стержнями *a* и *b* (фиг. 341), вставленными въ стеклянный сосудъ овальной формы, въ которомъ находится весьма разрѣженный газъ, то замѣчаемъ непрерывный свѣтъ, имѣющій форму яйца, почему и самое явленіе называется *электрическимъ* или *философскимъ яйцомъ*.

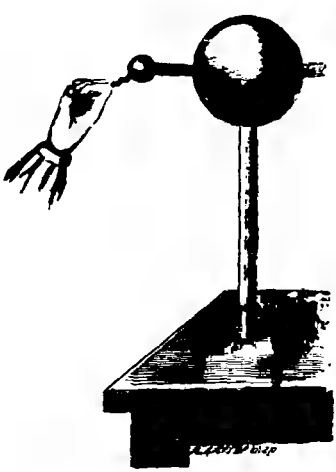
Возрастаніе проводимости газовъ при разрѣженіи ихъ имѣетъ предѣлъ, за которымъ дальнѣйшее разрѣженіе уменьшаетъ проводимость. Для водорода этотъ предѣлъ бываетъ при упругости въ $2^{mm},5$. Наконецъ, абсолютная пустота есть совершенный непроводникъ электричества.

Братья Альвернья, механики въ Парижѣ, изготовляютъ пустыя трубки, которыя не пропускаютъ электричества посредственнаго напряженія, не смотря на весьма малое разстояніе (около 1^{mm}) между впаянными туда электродами.

Гассіотъ достигалъ пустоты, вводя въ трубку, наполненную углекислымъ газомъ, ѣдкое кали, которое, при нагрѣваніи, поглощаетъ этотъ газъ безъ остатка.

Когда кондукторъ сильно наэлектризованъ положительно, то, чрезъ выдающуюся часть его, электричество вытекаетъ въ воздухъ въ видѣ блестящей кисти. Въ случаѣ отрицательнаго электричества, эта кисть весьма слаба. Разность въ этомъ отношеніи между электричествами, тѣмъ значительнѣе, чѣмъ шарикъ кондуктора меньше; когда вмѣсто него возьмемъ остріе, то положительное электричество все еще даетъ кисть, а отрицательное—только блестящую точку.

262. Явленіе искры. Если приближаемъ руку (фиг. 342) къ кондуктору электрической машины, то въ рукѣ возбуждаются оба электричества: $+E$ уходитъ въ землю, а $-E$ накопляется на той части руки, которая обращена къ кондуктору, и, достигнувъ нѣкоторой напряженности, соединяется съ электричествомъ кондуктора чрезъ воздухъ; тогда является искра и слышенъ трескъ. Искра при небольшомъ разстояніи тѣла отъ кондуктора имѣетъ видъ блестящей прямой линіи; когда же разстояніе довольно велико, то вмѣсто прямой линіи получается кривая, или ломаная.



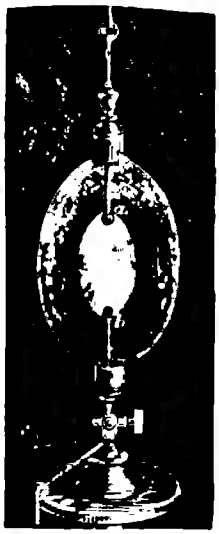
Фиг. 342.

Искра есть раскаленное состояніе частицъ воздуха или другаго вещества, чрезъ которое проходитъ электричество; только этимъ и можно объяснить, почему свѣтъ ея бываетъ разный въ разныхъ срединахъ, и что горючія тѣла можно искрою воспламенять.

Трескъ, замѣчаемый при перескакиваніи искры, указываетъ, что воздухъ приведенъ въ дрожательное состояніе, которое, вѣроятно, происходитъ оттого, что упругость газа, отъ сильнаго нагрѣванія, на мгновеніе быстро увеличивается.

263. Уединяющая скамейка. Если стать на скамейку, уеди-

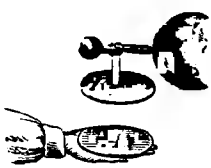
ченную отъ земли стеклянными ножками, и положить руку на кондукторъ электрической машины, то электричество распространится по тѣлу человѣка и перейдетъ, между прочимъ, въ его волосы; отъ этого, волосы будутъ отталкиваться, какъ золотые листки электроскопа, и встанутъ дыбомъ. Приближая руку къ стоящему на скамейкѣ, получимъ искру.



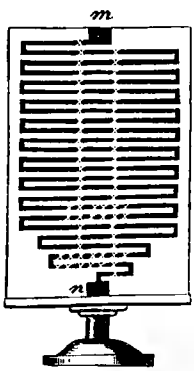
Фиг. 341.

264. Электрическая иллюминація. На стеклянную пластинку (фиг. 343) наклеиваютъ оловянную полоску въ видѣ зигзага; въ ней дѣлаютъ вырѣзки, чтобы образовалась какая нибудь фигура, или буква. Если теперь коснуться кондуктора однимъ концомъ m листка, а другой n сообщить съ землею, то электричество должно будетъ, прежде чѣмъ уйдетъ въ землю, перескочить въ видѣ искры изъ каждой части разрѣзаннаго листка въ смежную часть; такъ какъ электричество передается почти мгновенно, то всѣ искры явятся въ одно время, и мы увидимъ свѣтящуюся фигуру.

265. Электрическая пляска. Куклу, сдѣланную изъ бузинной сердцевины, кладутъ на металлическое блюдо A (фиг. 344), которое держатъ въ рукѣ подъ другимъ блюдомъ B, привѣшаннымъ къ кондуктору электрической машины. Положительное электричество круга B возбуждаетъ въ куклѣ оба электричества: $+E$ отталкиваетъ чрезъ блюдо A и руку въ землю, $-E$ притягиваетъ на верхнюю часть куклы; отъ этого, кукла подымается до блюда B, получаетъ отъ него $+E$ и отталкивается. Упавъ на блюдо A, кукла потеряетъ $+E$, которое уйдетъ въ землю, снова подвергнется дѣйствію положительнаго электричества блюда B, и явленіе повторится въ томъ же порядкѣ.



Фиг. 344.

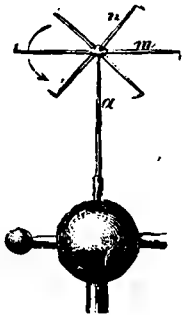


Фиг. 343.

266. Электрическій звонъ. Къ кондуктору электрической машины привѣшиваютъ металлическую пластинку (фиг. 345), а къ ней—два колокольчика p и t: одинъ на цѣпочкѣ, другой на шелковинкѣ, и металлическій шарикъ r, также на шелковинкѣ. Колокольчикъ t, кромѣ того, соединяютъ цѣпочкой съ землею. Если станемъ вращать кругъ электрической машины, то кондукторъ сообщитъ колокольчику p положительное электричество, которое въ

шарикѣ r возбудитъ два электричества: отрицательное на ближайшей сторонѣ шарика, а положительное—на противоположной. Но какъ первое ближе къ колокольчику, нежели второе, то притяженіе будетъ имѣть перевѣсъ, и шарикъ r приблизится къ колокольчику, коснется его, получитъ избытокъ—E и оттолкнется; послѣ этого, шарикъ r возбудитъ въ ближайшихъ точкахъ колокольчика t отрицательное электричество, а положительное оттолкнетъ въ землю. Придя въ соприкосновеніе съ колокольчикомъ t, шарикъ разрядится и отойдетъ въ отвѣсное положеніе, откуда снова притянется колокольчикомъ p, и явленіе воспослѣдуетъ въ томъ же порядкѣ. При соприкосновеніи съ колокольчиками, шарикъ ударяется въ нихъ съ нѣкоторою силою и производитъ звуки.

267. Франклиново колесо. На кондукторѣ утверждаютъ металлическій заостренный стержень a (фиг. 346), а на остріе кладутъ спаянныя между собою проволоки m, n и проч., которыхъ острые концы загнуты въ одну сторону. Этотъ приборъ, по имени изобрѣтателя, называется Франклиновымъ колесомъ. При вращеніи круга электрической машины, электричество переходитъ на колесо и, накопляясь преимущественно на остріяхъ, передается чрезъ нихъ сосѣднимъ частицамъ воздуха. Отъ этого происходитъ отталкиваніе между частицами воздуха и остріями, и колесо начинаетъ вращаться въ сторону противоположную той, куда загнуты концы.

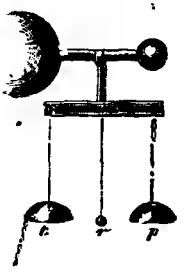


Фиг. 346.

268. Лейденская банка. На дѣйствіи электричества чрезъ вліяніе основанъ способъ накоплять электричество на проводникахъ. Если сообщимъ съ кондукторомъ электрической машины уединенную металлическую пластинку, то электричество будетъ на ней накопляться до тѣхъ поръ, пока потеря его въ воздухѣ не сдѣлается равною притоку изъ кондуктора; въ это время будетъ наибольшее заряженіе [258]. Сколько бы потомъ мы ни вращали кругъ электрической машины, мы не увеличимъ количества электричества на этой пластинкѣ.

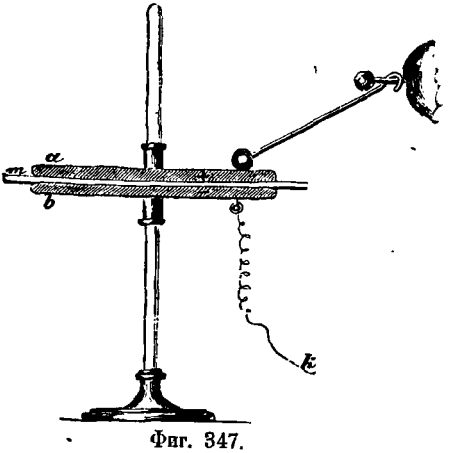
Другое явленіе произойдетъ, если вблизи металлической пластинки a (фиг. 347), сообщенной съ кондукторомъ, находится другая металлическая пластинка b, отдѣленная отъ первой стеклянной плиткой и уединенная стеклянной же подставкой. Такой приборъ называется *конденсаторомъ*. Пусть, при наибольшемъ заряженіи кружка a, въ немъ находится 1000 частицъ положительнаго электричества; эти 1000 частицъ разложатъ естественное электричество нижняго кружка b:—E притянутъ вверхъ, а $+E$ оттолкнутъ внизъ. Если бы стеклянная плитка была безконечно тонка, то на верхней поверхности пластинки b получилось бы 1000 частицъ отрицательнаго электричества; но на самомъ дѣлѣ она имѣетъ нѣкоторую толщину, иногда весьма значитель-

ную; поэтому, на пластинкѣ b будетъ гораздо менѣе электричества, напримѣръ 900. Это послѣднее, будучи связано положительнымъ электричествомъ кружка a, не имѣетъ стремленія выйти на воздухъ, между тѣмъ какъ положительное электричество нижней поверхности пластинки b свободно и уйдетъ въ землю, если коснемся этой пластинки рукою, или соединимъ ее съ землею проволокою k. Хотя 900 частицъ отрицательнаго электричества нижняго кружка связаны положительнымъ электричествомъ верхняго, но онѣ не будутъ въ состояніи въ свою очередь связать даже 900 частицъ положительнаго электричества кружка a, а только напр. 800, которыя поэтому не будутъ имѣть стремленія выйти въ воздухъ, между тѣмъ какъ остальныя 200 будутъ совершенно свободны. Такимъ образомъ, хотя въ кружкѣ a находится 1000 частицъ электричества, но 800 изъ нихъ связаны, какъ будто бы ихъ вовсе не было, а потому, при продолжающемся теченіи электричества изъ кондуктора электрической машины, приходъ электричества будетъ превышать расходъ. Электричество станетъ снова накопляться до тѣхъ поръ, пока опять не наберется 1000 частицъ свободнаго электричества; но какъ 200 уже есть, то прибавится еще 800. Эти 800 частицъ произведутъ то же дѣйствіе, что и прежнія 1000: разложатъ естественное электричество нижней пластинки и чрезъ это частію свяжутся, частію останутся свободными. Если остались свободными 150, то, присоединивъ сюда прежнихъ 200, найдемъ, что вообще свободнаго электричества на верхней пластинкѣ будетъ 350, и изъ кондуктора можетъ еще притечь 650, чтобы снова составилось 1000 частицъ свободнаго электричества. Притекшія 650 частицъ произведутъ то же дѣйствіе, и т. д.



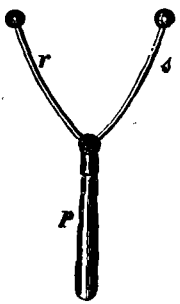
Фиг. 345.

Такимъ образомъ, если уединенная пластинка a сообщена съ кондукторомъ, то на ней, какъ мы предположили, можетъ накопиться 1000 частицъ электричества. Когда же вблизи ея будетъ еще другая b, то къ 1000 прибавится 800, потомъ 650 и т. д., такъ что вообще электричества будетъ гораздо болѣе.



Фиг. 347.

Справедливость предыдущихъ разсужденій подтверждается слѣдующимъ образомъ на опытѣ. Примемъ проволоку K, чтобы пластинка b была уединена. Если теперь коснемся ея рукою, то не получимъ искры, такъ какъ все электричество этой пластинки находится въ связанномъ состояніи; если же прикоснемся къ верхнему кружку, то искра явится, потому что электричество здѣсь частію свободно. Послѣ этого, количество электричества въ кружкѣ a уменьшится и не будетъ въ состояніи связывать все электричество кружка b, а потому, приближая къ кружку b руку, получимъ искру. Тогда на верхнемъ кружкѣ часть электричества сдѣлается свободной и дастъ искру, если къ этому кружку приблизимъ руку; касаясь такимъ образомъ попеременно то верхняго, то нижняго кружковъ, мы будемъ каждый разъ получать искру, пока оба кружка не потеряютъ все свое электричество. Соединеніе обоихъ электричествъ можно произвести мгновенно, посредствомъ *разрядника*. Этотъ снарядъ состоитъ изъ стеклянной ручки p (фиг. 348) и прикрѣпленныхъ къ ней на шарнирѣ двухъ металлическихъ стержней r и s, оканчивающихся шариками. Если взять разрядникъ за стеклянную ручку и, приложивъ одну его ножку къ верхнему кружку, приблизить другую къ нижнему кружку, то свободное электричество верхняго кружка перейдетъ на нижній и уничтожитъ въ немъ часть его связаннаго электричества. Отъ этого, на верхнемъ кружкѣ сдѣлается свободнымъ нѣкоторое количество электричества и также перейдетъ на нижній и т. д. Эти послѣдовательныя соединенія разнородныхъ электричествъ произойдутъ почти одновременно, и появится искра. Сила ея зависитъ отъ накопленія электричества на кружкахъ; это накопленіе тѣмъ болѣе, чѣмъ суше воздухъ, и чѣмъ болѣе размѣры кружковъ и электрической машины. Впрочемъ, увеличивать размѣръ кружковъ полезно только въ томъ случаѣ, когда есть большой притокъ электричества; въ противномъ случаѣ, количество накопившагося электричества будетъ не только не болѣе, но даже менѣе, потому что, съ увеличеніемъ поверхности кружковъ, увеличивается и потеря электричества въ воздухъ; напряженіе электричества, съ увеличеніемъ поверхности кружковъ, во всякомъ случаѣ уменьшается.



Фиг. 348.

Чѣмъ болѣе напряженіе электричествъ, тѣмъ чрезъ большее разстояніе они могутъ соединиться и тѣмъ, значитъ, искра будетъ длиннѣе; съ увеличеніемъ количества электричествъ, увеличивается толщина искры.

Разноименныя электричества кружковъ a и b (фиг. 345), вслѣд-

ствіе взаимнаго притяженія, лежатъ не въ металлахъ, а на поверхностяхъ стеклянной пластинки *m*. Дѣйствительно, если снять кружокъ *a* за стеклянную рукоятку, потомъ пластинку *m*, и изслѣдовать электроскопомъ кружки *a* и *b*, то окажутся только слабые слѣды электричества; но если сложить всѣ кружки въ прежнемъ порядкѣ, то посредствомъ разрядника можно получить сильную искру.

Разложенныя электричества кружковъ притягиваются иногда столь сильно, что соединяются чрезъ стекло, которое тогда разбивается. По этой причинѣ, стекло должно быть довольно толсто; впрочемъ слишкомъ толстое стекло также имѣетъ свои невыгоды, потому что, съ увеличеніемъ разстоянія между кружками, электричества связываются въ меньшемъ количествѣ, и накопленіе ихъ на проводникахъ будетъ небольшое.

Для увеличенія поверхности и сбереженія мѣста, измѣняютъ нѣсколько приборъ, и въ этомъ измѣненномъ видѣ онъ называется, по мѣсту изобрѣтенія, *лейденскою банкою*. Вотъ ея устройство. Стеклянная банка (фиг. 349) оклеивается немного болѣе, чѣмъ до половины, внутри и снаружи оловяннымъ листомъ и запирается деревянной пробкой; чрезъ пробку пропускаютъ металлическій съ шарикомъ стержень *b*, отъ котораго цѣпочка спускается до дна склянки. Когда хотятъ зарядить банку, то берутъ ее за внѣшнюю обкладку и приближаютъ шарикъ къ кондуктору; $+E$ кондуктора переходитъ чрезъ стержень и цѣпочку на внутреннюю обкладку и разлагаетъ естественное электричество внѣшней обкладки: $-E$ притягиваетъ къ себѣ, а $+E$ отталкиваетъ чрезъ руку въ землю. Здѣсь, очевидно, происходитъ то же самое, что въ приборѣ, изображенномъ на фиг. 348. При разряженіи должно одною ножкою разрядника коснуться внѣшней обкладки, а другою—шарика. Вмѣсто внутренней обкладки, можно положить въ банку листоваго золота, или даже налить воды, а наружную обкладку замѣнить рукою. Конечно дѣйствіе будетъ слабѣе.

Фиг. 349.

Чтобы увеличить количество электричества, соединяютъ особо внутреннія и внѣшнія обкладки многихъ банокъ; для этого, ставятъ ихъ на общій металлическій листъ и соединяютъ шарики металлическими же прутьями (фиг. 350). Такая система дѣйствуетъ какъ одна большая лейденская банка, которой поверхность равна суммѣ поверхностей всѣхъ соединенныхъ вмѣстѣ банокъ, и называется *электрическою батареею*.

Съ увеличеніемъ поверхности электрической батареи, напряженіе электричества уменьшается, но количество электричества возрастаетъ, впрочемъ, до нѣкотораго предѣла.

269. Если коснемся одной рукой внѣшней обкладки лейденской банки, а другой—шарика, то электричества соединятся чрезъ наше тѣло; при этомъ испытываемъ особенное ощущеніе, преимущественно въ сочлененіяхъ, пріятное при незначительномъ накопленіи электричества и причиняющее очень сильную боль при большомъ напряженіи и даже мгновенную смерть; небольшое животное можно убить одной банкой средней величины. Эти ощущенія не похожи на всякія другія; видимое же дѣйствіе заключается въ укорачиваніи мускуловъ.

Когда пропускаемъ электричество чрезъ сложныя тѣла, то они разлагаются на ихъ составныя части; такъ, вода разлагается на кислородъ и водородъ, изъ мѣднаго купороса выдѣляется мѣдь и проч.

При разряженіи батареи тѣломъ большой величины не замѣчается вообще возвышенія температуры, но если электричество пробѣгаетъ по тонкой проволокѣ, то послѣдняя нагрѣвается, а въ обстоятельствахъ благопріятныхъ накаливается, плавится и даже обращается въ пары.

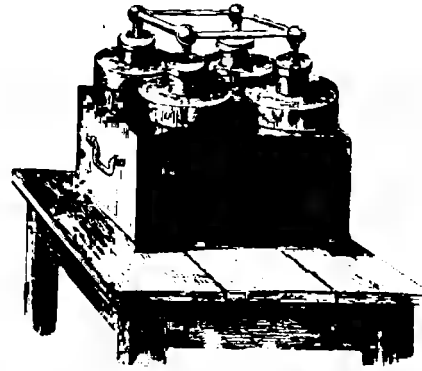
Если пропустить электричество чрезъ колоду картъ, то въ ней получается отверстіе; то же бываетъ и со стекломъ. Сухое дерево въ этомъ случаѣ расщепляется.

Если коснуться внѣшней оболочки одной ножкой разрядника, а шарикъ другой ножки покрыть хлопчатой бумагой, посыпавъ на нее порошка смолы, и приблизить къ шарику лейденской банки, то при появленіи искры порошокъ загорится и сообщитъ пламя хлопчатой бамагѣ. Пропуская искру на спиртъ, эфиръ, порохъ и вообще на тѣла горючія, можно ихъ подобнымъ образомъ зажечь. Порохъ при этомъ надо смѣшивать съ желѣзными опилками; иначе онъ не загорается, а только разбрасывается.

Во всѣхъ случахъ при полученіи искры происходитъ трескъ, который при большомъ напряженіи электричества бываетъ сильнѣе пистолетнаго выстрѣла.

270. Электроскопъ съ конденсаторомъ. Источники электричества бываютъ иногда столь слабы, что, будучи сообщены съ электроскопомъ, не въ состояніи раздвинуть золотые листки. Съ помощію конденсатора можно увеличить чувствительность электроскоповъ. Для этого шарикъ электроскопа замѣняютъ металлическимъ кругомъ b (фиг. 351), соединеннымъ съ стержнемъ a, на которомъ висятъ золотые листки m. На кругъ b накладывается другой кругъ c, также металлическій, со стеклянной рукояткой; это и есть конденсаторъ. Оба круга уединяются одинъ отъ другаго тонкимъ слоемъ смоляного лака, которымъ покрываютъ также и нижнюю часть неподвижнаго круга b. Испытуемое тѣло сообщаютъ съ шарикомъ n, который прикрѣпляется металлическимъ пру-

томъ къ кругу *b*. Если въ этомъ тѣлѣ есть электричество, напр. положительное, то оно перейдетъ чрезъ шарикъ *n* въ нижній кругъ, и естественное электричество верхняго круга разложится: отрицательное притянется, а положительное оттолкнется наверхъ, откуда прикосновеніемъ руки надо отвести его въ землю. Электричество, притекшее въ нижній кругъ, не распространится въ золотые листки электроскопа *), потому что, связывая отрицательное электричество верхняго круга, оно само большею частію переходитъ въ связанное состояніе. Тогда изъ наэлектризованнаго тѣла придетъ въ нижній кругъ еще электричество и снова будетъ почти вполнѣ связано отрицательнымъ электричествомъ верхняго круга. Это дѣйствіе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока на нижнемъ кругѣ свободное электричество не будетъ имѣть такое же напряженіе, какъ и оставшееся электричество въ испытуемомъ наэлектризованномъ тѣлѣ. Если разобщимъ теперь электроскопъ съ наэлектризованнымъ тѣломъ и отнимемъ верхній кружокъ *c*, то электричество нижняго круга, бывшее до сихъ поръ связаннымъ, устремится въ золотые листки и раздвинетъ ихъ. Столбики *p*, или кусочки олова, наклеенные на стеклѣ, служатъ для усиливанія дѣйствія: естественное электричество въ нихъ разлагается, одноименное съ изслѣдуемымъ теряется въ воздухѣ, или удаляется въ землю, а разноименное, притягивая электричество золотыхъ листковъ, увеличиваетъ ихъ отклоненіе.



Фиг. 350.

Конденсаторъ полезенъ только въ томъ случаѣ, когда испытуемое тѣло содержитъ въ самомъ себѣ постоянный, хотя и слабый источникъ электричества или имѣетъ весьма большую поверхность; если же поверхность очень мала, напримѣръ равна поверхности электроскопа, то въ первое мгновеніе перейдетъ на нижній кругъ *b* около половины всего электричества, затѣмъ изъ оставшейся половины еще

Фиг. 351.

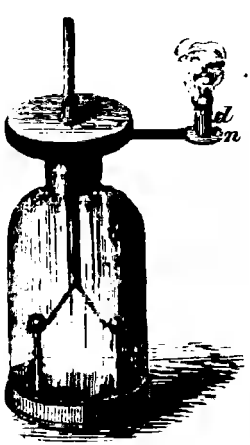
*) Кромѣ весьма небольшаго количества.

нѣкоторое количество. Такимъ образомъ, электроскопъ безъ конденсатора отнимаетъ половину электричества у испытуемаго тѣла,—конденсаторъ извлекаетъ большую часть оставшейся половины, и, слѣдовательно, не можетъ произвести даже двойного напряженія электричества въ золотыхъ листкахъ электроскопа. Когда наэлектризованное тѣло имѣетъ большую поверхность, или заключаетъ въ себѣ постоянный источникъ электричества, то конденсаторъ можетъ, по причинѣ весьма малой толщины слоя лака, увеличить напряженіе электричества въ электроскопѣ въ 100 разъ и даже болѣе.

ГАЛЬВАНИЗМЪ.

271. Электричество при химическихъ явленіяхъ. Когда два вещества, способныя производить другъ на друга химическое дѣйствіе, находятся въ соприкосновеніи, то одно изъ нихъ заряжается положительнымъ электричествомъ, а другое—отрицательнымъ. Въ доказательство приведемъ нѣсколько фактовъ.

1) Къ электроскопу съ конденсаторомъ придѣлываютъ, вмѣсто шарика *n* (фиг. 351), горизонтальную пластинку *n* (фиг. 352), на которую ставятъ цилиндръ *d* изъ чистаго угля и зажигаютъ его, а конденсаторъ сообщаютъ съ землею. Чтобы усилить горѣніе, на уголь направляютъ струю воздуха, или кислорода. Спустя немного времени, конденсаторъ снимаютъ, и тотчасъ же золотыя пластинки электроскопа раздвигаются. Приближая смоляную палку, потертую сукномъ, или стеклянную палку, послѣ тренія ея объ амальгамированную кожу, можно доказать, что листки электроскопа содержатъ свободное отрицательное электричество. Затѣмъ повторяютъ опытъ въ иномъ порядкѣ: уголь снимаютъ и, сообщивъ его съ землею, держатъ подъ пластинкой *n*, чтобы образующійся при горѣніи углекислый газъ приходилъ въ соприкосновеніе съ этой пластинкой. По снятіи конденсатора, легко убѣдиться, что золотые листки заряжены свободнымъ положительнымъ электричествомъ. Вообще при горѣніи, на самихъ горящихъ тѣлахъ возбуждается электричество отрицательное, а на продуктахъ горѣнія—положительное.

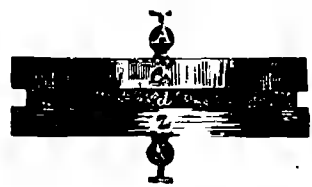


Фиг. 352.

2) Кладутъ на руку отчищенный цинковый кружокъ, покрываютъ его бумагой, намоченной въ слабой сѣрной кислотѣ, и, держа горизон-

тально, прикасаются бумагой къ шарику n (фиг. 351) электроскопа; вскорѣ золотые листки заряжаются положительно. Положивъ бумагу на руку, а на бумагу цинковый кружокъ, легко убѣдиться, что на цинкѣ является свободное отрицательное электричество. Испытывая разные металлы и смачивая бумагу въ разныхъ жидкостяхъ, нашли, что металлъ заряжается отрицательно, жидкости—положительно. При всѣхъ этихъ опытахъ необходимо шарикъ электроскопа покрывать позолотою или вообще такимъ металломъ, который не подвергается химическому дѣйствію испытуемыхъ жидкостей.

3) Берутъ двѣ металлическія пластинки, напримѣръ изъ мѣди c (фиг. 353) и цинка z, кладутъ между ними папку d, смоченную сѣрной кислотой; на пуговкахъ A и K замѣчается присутствіе свободныхъ электричествъ: на A—положительнаго, на K—отрицательнаго. Испытывая разныя жидкости и металлы, пришли къ заключенію, что при соприкосновеніи двухъ металловъ съ одною и тою же жидкостію, металлъ, наиболѣе измѣняемый жидкостію, заряжается отрицательно, а другой—положительно. Такъ, въ случаѣ мѣди, цинка и сѣрной кислоты, мѣдь электризуется положительно, цинкъ—отрицательно; если цинкъ замѣнить платиной, то мѣдь дѣлается электроотрицательною, платина же заряжается электричествомъ положительнымъ.



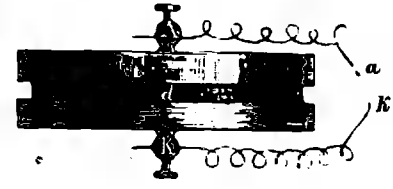
Фиг. 353.

Многочисленныя наблюденія устраняютъ всякое сомнѣніе относительно упомянутаго закона, но почему при взаимномъ соприкосновеніи веществъ, химически дѣйствующихъ другъ на друга, освобождается электричество, совершенно неизвѣстно,—наука даже не обладаетъ ни одной сколько нибудь удовлетворительной гипотезой. Неизвѣстная причина возбужденія электричества при химическихъ явленіяхъ называется *электровозбудительною силою*. Эта сила въ точкахъ соприкосновенія разнородныхъ веществъ разлагаетъ естественное электричество и накопляетъ положительное электричество на одномъ изъ веществъ, отрицательное—на другомъ. Разложенныя электричества стремятся соединиться снова, вслѣдствіе взаимнаго притяженія; электровозбудительная сила этому препятствуетъ. Поэтому, накопленіе электричествъ продолжается до тѣхъ поръ, пока ихъ взаимное притяженіе не будетъ равно электровозбудительной силѣ. Но такъ какъ электрическое притяженіе прямо пропорціонально количеству электричества, которое, въ свою очередь, прямо пропорціонально напряженію электричества, то

электровозбудительная сила также прямо пропорціональна напряженію возбужденныхъ ею электричествъ.

Пусть напряженіе электричествъ достигло наибольшей величины; если химическое дѣйствіе продолжается, то напряженіе сохранитъ свою величину, потому что вновь образующіяся разнородныя электричества не могутъ быть удержаны отъ взаимнаго соединенія электровозбудительною силою, и тотчасъ же взаимно уничтожатся. Въ случаѣ соприкосновенія нѣсколькихъ разнородныхъ веществъ, какъ наприм. въ приборѣ, изображенномъ на фиг. 353, не опредѣлено, гдѣ дѣйствуетъ электровозбудительная сила: въ тѣхъ ли точкахъ, гдѣ соприкасаются мѣдь и сѣрная кислота, или сѣрная кислота и цинкъ, или цинкъ и мѣдная пуговка A, или, наконецъ, во всѣхъ точкахъ, гдѣ соприкасаются разнородныя вещества. Мы будемъ считать мѣстомъ пребыванія электровозбудительной силы точки соприкосновенія цинка и сѣрной кислоты и, вообще, тѣ точки, гдѣ происходитъ сильнѣйшее химическое дѣйствіе.

272. Гальваническій токъ. Если кружки c и z (фиг. 354), мѣдный и цинковый, раздѣлены папкой, смоченной въ сѣрной кислотѣ, то электровозбудительная сила, въ точкахъ соприкосновенія цинка и сѣрной кислоты, разлагаетъ естественное электричество: положительное гонитъ чрезъ папку въ мѣдь, а отрицательное—на цинкъ и накопляетъ ихъ на мѣди и цинкѣ до тѣхъ поръ, пока взаимное притяженіе разнородныхъ электричествъ не уравновѣсится съ электровозбудительной силой. Если, чрезъ прикосновеніе руки къ пуговкамъ A и K, отведемъ эти электричества въ землю, то электровозбудительная сила возбудитъ на цинкѣ и мѣди новыя электричества, которыя быстро достигнутъ прежняго напряженія. Если къ пуговкамъ A и K (фиг. 354) прикрѣпить проволоки Aa и Kk и привести ихъ концы a и k въ соприкосновеніе, то разнородныя электричества распространятся по этимъ проволокамъ навстрѣчу другъ другу, соединятся и уничтожатся. На мѣсто уничтожившихся электричествъ, электровозбудительная сила снова возбудитъ на цинкѣ и мѣди электричества, которыя опять уничтожатся въ соединительномъ проводникѣ. За этимъ послѣдуютъ новое разложеніе электричествъ и ихъ уничтоженіе и т. д. Эти послѣдовательныя возбужденіе и соединеніе электричествъ происходятъ безъ перерыва, такъ что въ проводникахъ Aa и Kk получаются два непрерывные противоположные тока электричествъ: положительнаго—отъ A къ K и отрицательнаго—отъ K къ A. Для сокра-



Фиг. 354.

щенія рѣчи, непрерывное теченіе электричествъ согласились называть *гальваническимъ токомъ* или *электричествомъ динамическимъ*, въ отличіе отъ *статическаго электричества*, накопляющагося на проводникахъ, какъ наприм., на кондукторѣ электрической машины. Направленіе гальваническаго тока считаютъ совпадающимъ съ направленіемъ теченія положительнаго электричества. Такъ, въ разсматриваемомъ случаѣ, гальваническій токъ или положительное электричество течетъ по проводникамъ отъ A къ K; отрицательное электричество имѣетъ обратное направленіе.

Винты A и K, или концы a и k прикрѣпленныхъ къ нимъ проводниковъ Aa и Kk, называются *электродами*; тотъ электродъ A, или a, изъ котораго токъ выходитъ, называется *анодомъ*, а тотъ электродъ K, или k, въ который токъ входитъ,—*катодомъ*; часто анодъ называютъ *положительнымъ полюсомъ*, а катодъ — *отрицательнымъ*. Гальваническій токъ можно пропустить чрезъ какое либо тѣло, соединяя это тѣло съ электродами. Совокупность тѣлъ, по которымъ пробѣгаетъ токъ, называется замкнутой *гальванической цѣпью;* если же въ проводникѣ сдѣланъ разрывъ, или токъ долженъ проходить чрезъ непроводникъ электричества, то будемъ имѣть незамкнутую гальваническую цѣпь. Если тѣло вставлено въ цѣпь, такъ что чрезъ него проходитъ токъ, то говорятъ, что тѣло *введено въ цѣпь*.

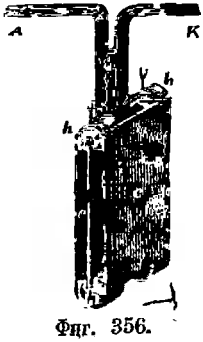
Теченіе электричествъ можно получить многими способами. При разряженіи лейденской банки, въ разрядникѣ получается электрическій токъ, имѣющій чрезвычайно малую продолжительность. Если соединить проволокой кондукторъ B обыкновенной электрической машины съ шарикомъ K (фиг. 336), то въ проводникѣ получимъ рядъ быстро слѣдующихъ одинъ за другимъ электрическихъ токовъ, весьма малой продолжительности. Теченіе электричествъ можно сдѣлать болѣе равномѣрнымъ и, такимъ образомъ, уподобить ихъ гальваническому току, если для замыканія цѣпи взять мокрую нить, которая представляетъ электричеству значительное сопротивленіе.

373. Гальваническіе элементы. Для полученія гальваническаго тока были придуманы снаряды, извѣстные подъ общимъ названіемъ *гальваническихъ элементовъ* или *паръ*.

1) *Элементъ Сми*, состоитъ изъ двухъ пластинокъ (фиг. 355): платиновой P и цинковой Z, погруженныхъ въ слабый водный растворъ сѣрной кислоты. Наиболѣе измѣняемый металлъ есть цинкъ; а потому электровозбудительная сила дѣйствуетъ въ точкахъ соприкосновенія этого металла съ кислотой: положительное электричество гонится чрезъ кислоту на платину, а отрицательное на цинкъ, такъ что пла-

тиновая пластинка служитъ анодомъ, а цинковая катодомъ.—Цинкъ въ отношеніи сѣрной кислоты представляетъ удивительное явленіе. Если въ смѣсь изъ сѣрной кислоты и воды погрузить нечистый цинкъ, то съ поверхности его начинаютъ быстро отдѣляться пузырьки водорода, вытѣсняемаго металломъ изъ сѣрной кислоты; на этомъ основано, какъ извѣстно, добываніе водорода. Напротивъ, цинкъ, химически чистый, или амальгамированный, т. е. покрытый ртутью, этого дѣйствія не производитъ. Если въ элементѣ Сми цинкъ амальгамированъ, и цѣпь не замкнута, то химическихъ явленій не замѣчается. Но если концомъ *a* проволоки *Aa*, припаянной къ платинѣ, коснуться проволоки *K*, припаянной къ цинковой пластинкѣ,—тотчасъ же начинается химическое дѣйствіе: цинкъ вытѣсняетъ водородъ изъ сѣрной кислоты, превращаетъ ее въ цинковый купоросъ, а водородъ освобождается, но уже не на цинкѣ, а съ платины. При размыканіи цѣпи, химическое дѣйствіе прекращается. Если цинкъ не чистъ и не амальгамированъ, то на немъ постоянно освобождается водородъ, который, при замыканіи цѣпи, появляется также и на платинѣ.

2) *Элементъ Вульстена* состоитъ изъ цинковаго листа *z* (фиг. 356), обернутаго мѣднымъ листомъ *c* и вмѣстѣ съ нимъ погруженнаго въ воду, въ которую прибавлено немного сѣрной кислоты. Оба листа уединены другъ отъ друга посредствомъ кусковъ дерева *h*. Пластинка *A*, припаянная къ мѣди, служитъ анодомъ, а пластинка *K*, соединенная съ цинкомъ,—катодомъ. Химическій процессъ здѣсь тотъ же, что и въ элементѣ Сми.

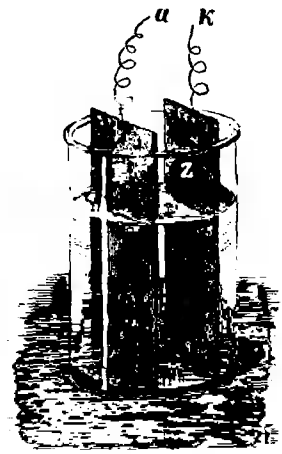


Фиг. 356.

Элементы Сми и Вульстена, кромѣ того недостатка, что освобождаютъ водородъ, который, примѣшиваясь къ воздуху, дѣлаетъ послѣдній менѣе годнымъ для дыханія, особенно при употребленіи большого числа элементовъ,—еще довольно слабъ.

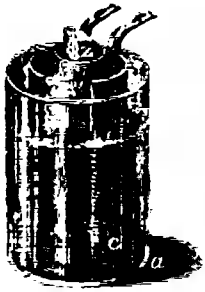
3) *Элементъ Даніеля* состоитъ изъ двухъ жидкостей и двухъ металловъ. Въ стеклянный сосудъ *a* (фиг. 357) ставятъ мѣдный листъ *c*, свернутый въ видѣ цилиндра; внутри его помѣщаютъ горшокъ *l* изъ слабо обожженной глины, чтобы чрезъ стѣнки его могла просачиваться жидкость; въ этотъ сосудъ опускаютъ плитку *z* амальгамированнаго цинка; въ стеклянный сосудъ, между его стѣнками и глинянымъ горшкомъ, наливаютъ насыщенный водный растворъ мѣднаго купороса, а въ глиняный сосудъ—воды, окисленной сѣрной кислотой; обѣ жидкости соприкасаются чрезъ поры глинянаго сосуда. Фиг. 358 изображаетъ элементъ Даніеля, собранный и заряженный. Цинкъ служитъ катодомъ, а мѣдь—анодомъ. Цинкъ, замѣщая водородъ сѣрной кислоты, даетъ

цинковый купоросъ, а освобождающійся водородъ не отдѣляется на воздухъ, какъ въ элементѣ Сми, а разлагаетъ мѣдный купоросъ, становясь на мѣсто мѣди, которая осаждается на мѣдномъ листѣ. Такимъ образомъ, газовъ въ этомъ элементѣ не отдѣляется; онъ довольно силенъ и дѣйствуетъ долго. Если замѣнить окисленную воду растворомъ поваренной соли, или даже обыкновенною водою, то хотя гальваническій токъ будетъ и слабѣе, но зато можетъ дѣйствовать съ постоянною силою нѣсколько мѣсяцевъ, если только отъ времени до времени прибавлять кристалловъ мѣднаго купороса.

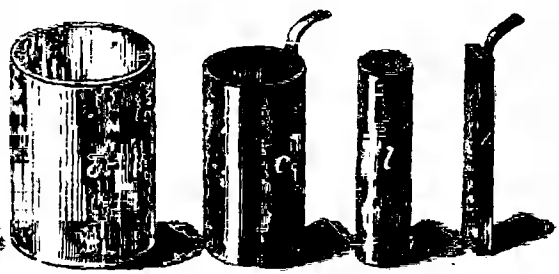


Фиг. 355.

4) Элементъ Даніеля, первоначальная идея котораго принадлежитъ Беккерелю, былъ много разъ измѣняемъ; одно изъ такихъ измѣненій есть *элементъ Мейдингера* (фиг. 359). Послѣдній отличается отъ Даніелева главнѣйшимъ образомъ только тѣмъ, что не имѣетъ глиняной перегородки. Цинковый листъ Z, свернутый въ трубку, опирается на стѣнки стекляннаго, книзу съуживающагося, сосуда dd. Мѣдный листъ c помѣщенъ въ особый стеклянный сосудъ b, поставленный на дно сосуда dd. Весь сосудъ dd наполняютъ растворомъ одной изъ солей: сѣрноцинковой, глауберовой, поваренной и проч. Въ воронку vv, вставленную въ



Фиг. 358.

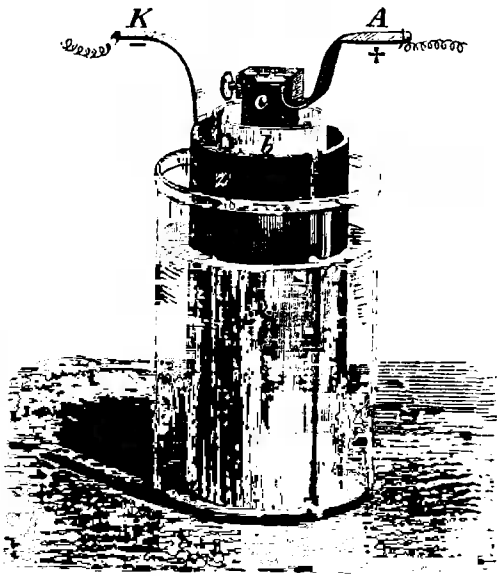


Фиг. 357.

крышку p, кладутъ кристаллы мѣднаго купороса, который растворяется и опускается въ сосудъ b. Электродами служатъ проволоки A и K, идущія отъ мѣди и цинка и пропущенныя чрезъ крышку p; проволоки надо покрывать гуттаперчей. Элементъ Мейдингера, хотя и довольно слабъ, но дѣйствуетъ постоянно впродолженіе полугода и болѣе, если только отъ времени довремени приливаютъ въ него воды, убывающей чрезъ испареніе, а въ воронку vv—кристаллы мѣднаго купороса. Если въ прикосновеніи съ цинкомъ находится глауберова соль, то химическій процессъ заключается въ замѣщеніи цинкомъ натрія, который въ свою очередь вытѣсняетъ мѣдь изъ мѣднаго купороса. Вообще цинкъ замѣщаетъ

металлъ той соли, которая находится въ прикосновеніи съ цинкомъ. Во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ вмѣсто сѣрной кислоты берутъ растворы солей, цинкъ амальгамировать излишне; это весьма важно въ практическихъ примѣненіяхъ, потому что цѣна ртути довольно высока.

5. *Элементъ Бунзена* (фиг. 360), подобно Даніелеву, состоитъ изъ двухъ жидкостей и двухъ твердыхъ тѣлъ; мѣдный купоросъ замѣненъ азотною кислотою, а мѣдь — углемъ. Вещества расположены въ обратномъ порядкѣ: угольный цилиндръ *c* помѣщаютъ, вмѣстѣ съ азотной кислотой, въ глиняный горшокъ *b*, а цинковый листъ *z*, свернутый въ трубку, опускаютъ въ стеклянный сосудъ, куда наливаютъ воду съ сѣрной кислотой. Анодомъ служитъ мѣдная пластинка *A*, прикрѣпленная къ углю, катодомъ пластинка *K*, припаянная къ цинку. Водородъ, освобожденный цинкомъ изъ сѣрной кислоты, разлагаетъ азотную кислоту, отнимая отъ нея часть кислорода и образуя азотноватую окись, которая сначала растворяется въ азотной кислотѣ, а потомъ выдѣляется изъ жидкости; отдѣленіе этого газа можетъ оказать вредное вліяніе на органы дыханія, а потому элементъ Бунзена должно помѣщать такъ, чтобы этотъ газъ чрезъ особую трубу уносился наружу. Съ большою выгодою азотную кислоту замѣняютъ хромовой; тогда газовъ не отдѣляется, но зато сила элемента, если цѣпь постоянно замкнута, быстро уменьшается.



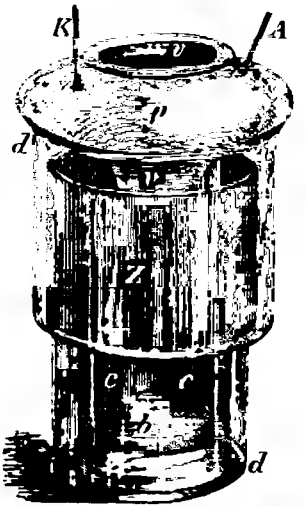
Фиг. 360.

Химическій процессъ состоитъ въ замѣщеніи цинкомъ водорода сѣрной кислоты, который раскисляетъ хромовую кислоту, превращая ее въ хромовую окись—твердое тѣло зеленаго цвѣта—осаждающуюся на углѣ, отъ чего сопротивленіе увеличивается. Чтобы устранить этотъ недостатокъ, берутъ, вмѣсто хромовой кислоты, такъ называемую *хромовую жидкость*, составляемую изъ раствора двухромокаліевой соли въ водѣ и сѣрной кислоты *). Результатъ химическаго процесса—образованіе хромовыхъ квасцовъ.

*) 100 частей (по вѣсу) воды, 12 двухромовой каліевой соли и 25 сѣрной кислоты; сначала въ горячей водѣ растворяютъ двухромовокаліеву соль, а потомъ приливаютъ сѣрную кислоту.

Токъ получается болѣе постоянный въ *элементѣ Маріе-Деви*, въ которомъ на мѣсто хромовой, или азотной кислоты, берутъ сѣрнортутную соль.— Элементъ Бунзена весьма силенъ и уступаетъ въ этомъ отношеніи только элементу Грове.

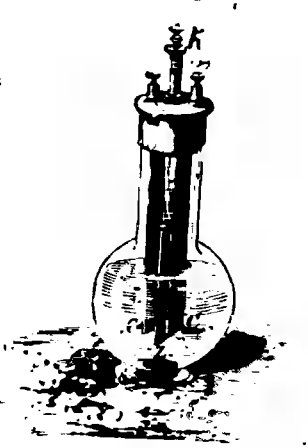
6) *Элементъ Грове* такъ же устроенъ, какъ и элементъ Бунзена, только въ немъ уголь замѣненъ платиной, которая помѣщается въ азотную кислоту. Этотъ приборъ замѣчателенъ по своей силѣ, но высокая цѣна платины дѣлаетъ его мало употребительнымъ. Немаловажный недостатокъ составляетъ также отдѣленіе азотноватой окиси.



Фиг. 359.

7) Въ послѣднее время сталъ входить въ большое употребленіе *элементъ Лекланше*: въ немъ только одна жидкость: не смотря на то, газовъ не выдѣляется, и элементъ дѣйствуетъ впродолженіе года и болѣе. Угольная пластинка помѣщается въ глиняный пористый горшокъ, въ который насыпаютъ смѣсь изъ толченаго кокса и перекиси марганца. Глиняный горшокъ ставятъ въ стеклянный сосудъ съ растворомъ нашатыря въ водѣ; въ ту же жидкость погружаютъ цинковый (неамальгамированный) листъ. Если цѣпь не замкнута, то химическаго дѣйствія нѣтъ. При замыканіи цѣпи цинкъ растворяется и образуются хлористый цинкъ и аммоній; послѣдній отымаетъ часть кислорода отъ перекиси марганца, превращая ее въ окись, и даетъ амміакъ, который растворяется въ жидкости. Элементы Лекланше употребляются въ электрическихъ звонкахъ, на телеграфахъ и вообще въ тѣхъ случаяхъ, гдѣ цѣпь часто замыкается на короткое время.

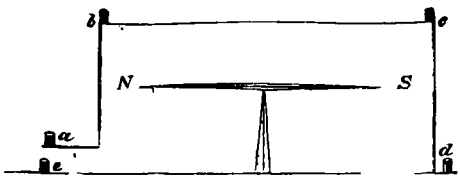
8) Элементъ *Гренé* имѣетъ видъ бутылки съ широкимъ горломъ (фиг. 361), закрытымъ пластинкой изъ рогового каучука. Къ крышкѣ прикрѣплены двѣ угольныя пластинки *c*; онѣ находятся между собою въ металлическомъ сообщеніи и представляютъ анодъ элемента. Катодомъ служитъ цинковая пластинка *z*, прикрѣпленная къ латунному пруту *k*, который проходитъ чрезъ крышку и при помощи котораго цинкъ можно поднять изъ жидкости или погрузить. Расширенную нижнюю часть сосуда наполняютъ хромовою жидкостью. Элементъ обладаетъ весьма большою силою, но дѣйствуетъ не долго.



Фиг. 361.

275. Мультипликаторъ. Въ 1820 году датскій физикъ Эрштедтъ открылъ дѣйствіе гальваническаго тока на магнитную стрѣлку, весьма трудно получаемое съ помощью электрическихъ машинъ. Вообразимъ

магнитную стрѣлку *NS* (фиг. 362), лежащую на остріѣ внутри проволочнаго прямоугольника *abcde*, поставленнаго въ одной вертикальной плоскости съ стрѣлкой. На проволокѣ расположены чашечки *a, b, c, d, e,* со ртутью, въ которыя погружаютъ концы проволокъ, идущихъ отъ полюсовъ гальваническаго элемента, чтобы токъ проходилъ по всей проволокѣ *abcde,* или ея части. Такимъ образомъ, вся проволока, или ея часть, будутъ введены въ цѣпь, и тотчасъ же магнитная стрѣлка уклоняется отъ своего обыкновеннаго положенія въ ту или другую сторону. Французскій ученый Амперъ далъ правило для опредѣленія стороны, въ которую отклоняется стрѣлка: *должно вообразить наблюдателя совпадающимъ съ проволокой, такъ чтобы токъ проходилъ отъ ногъ къ головѣ, и чтобы лицо его было обращено къ магнитной стрѣлкѣ; тогда онъ увидитъ сѣверный полюсъ ея всегда отклоненнымъ влѣво.* Если напр. анодъ гальваническаго элемента соединимъ съ чашечкой *a*, а катодъ съ *b*, то токъ будетъ идти снизу вверхъ; наблюдатель долженъ стоять на ногахъ, лѣвая рука его будетъ обращена къ востоку; значитъ, сѣверный конецъ стрѣлки отклонится также къ востоку. При обратномъ направленіи тока, наблюдатель долженъ стоять на головѣ, и сѣверный полюсъ отклонится къ западу. Легко видѣть, что если чашечку *a* соединить съ анодомъ, а *e* съ катодомъ, то онъ пройдетъ по всѣмъ частямъ *ab, bc, cd* и *de* проволоки *abcde,* и всѣ онѣ будутъ дѣйствовать въ одну сторону, отклоняя сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки къ востоку. Перемѣстивъ концы соединительныхъ проволокъ, т. е. соединяя *e* съ анодомъ и *a* — съ катодомъ, получимъ отклоненіе западное. Этотъ приборъ называется *простымъ гальваноскопомъ*; онъ можетъ показать присутствіе тока и его направленіе.



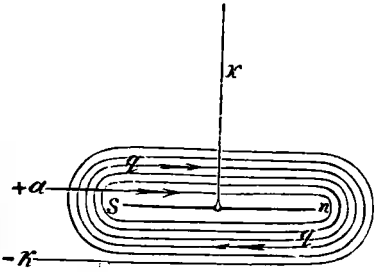
Фиг. 362.

Правило Ампера удовлетворительно, когда по направленію тока нужно опредѣлить отклоненіе магнитной стрѣлки, но оно неудобно въ обратномъ случаѣ, т. е. когда по отклоненію стрѣлки требуется узнать направленіе тока. Булюбашъ предложилъ другое, болѣе удобное правило: наблюдатель долженъ помѣститься предъ проволочнымъ прямоугольникомъ *abcde*; если токъ имѣетъ направленіе часовой стрѣлки, то сѣверный полюсъ магнитной стрѣлки отъ наблюдателя удаляется, въ противномъ случаѣ—приближается; наоборотъ, если сѣверный полюсъ стрѣлки удаляется отъ наблюдателя, то токъ имѣетъ направленіе стрѣлки часовъ; когда тотъ же полюсъ приближается къ наблюдателю, то направленіе тока противоположно движенію часовой стрѣлки.

Простой гальваноскопъ годится только для грубыхъ наблюденій.

Болѣе чувствительный аппаратъ есть *мультипликаторъ*. Главная часть его—мѣдная проволока *qq* (фиг. 363 и 364), намотанная на деревянную рамку *bb*, внутри которой, въ *d*, помѣщаютъ магнитную стрѣлку *ns*; проволоку обвиваютъ шелкомъ, чтобы уединить одинъ оборотъ отъ другого. Концы *m* и *l* проволокъ, прикрѣпленныхъ къ винтамъ *a* и *k*, соединяютъ съ гальваническимъ элементомъ. Токъ проходитъ послѣдовательно по всѣмъ оборотамъ, такъ что каждый оборотъ дѣйствуетъ на магнитную стрѣлку; поэтому, отклоненіе магнитной стрѣлки, при той же силѣ тока, здѣсь болѣе, нежели въ простомъ гальваноскопѣ. Магнитную стрѣлку *sn*, для уменьшенія тренія, не кладутъ на остріе, а прикрѣпляютъ къ проволокѣ, которую вѣшаютъ на шелковинку *x*; прикрѣпленная къ той же проволокѣ, параллельно стрѣлкѣ *ns*, мѣдная стрѣлка *p* движется по кругу и указываетъ градусы.

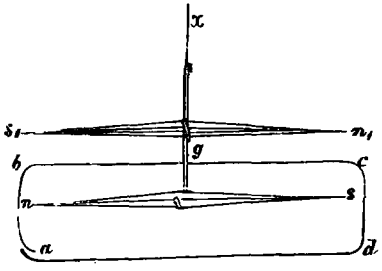
Чувствительность мультипликатора измѣряется угломъ, на который отклоняется магнитная стрѣлка отъ магнитнаго меридіана. Величина этого угла зависитъ отъ двухъ силъ: силы земного магнитизма и силы, съ которою дѣйствуютъ обороты проволоки мультипликатора, и которую мы будемъ называть для краткости *отклоняющею силою оборотовъ*.



Фиг. 363.

Фиг. 364.

Земной магнитизмъ стремится поставить стрѣлку въ плоскость магнитнаго меридіана. Отклоняющая сила оборотовъ дѣйствуетъ по направленію перпендикулярному къ плоскости оборотовъ; въ этомъ убѣждаютъ насъ слѣдующія явленія: 1) если токъ весьма силенъ, или когда въ мультипликаторѣ много оборотовъ, то магнитная стрѣлка становится въ положеніе, перпендикулярное къ оборотамъ; 2) если вращать обороты въ сторону, противоположную отклоненію магнитной стрѣлки, то отклоненіе уменьшается и, наконецъ, обращается въ нуль, когда обороты станутъ перпендикулярно къ магнитному меридіану.—Отсюда ясно, что мультипликаторъ будетъ тѣмъ чувствительнѣе, чѣмъ меньше дѣйствіе земного магнитизма въ отношеніи отклоняющей силы оборотовъ. Отклоняющую силу можно увеличить, употребляя большое число оборотовъ: существуютъ мультипликаторы въ 30000 оборотовъ. Отъ степени намагничиванія стрѣлки чувствительность мультипликатора не зависитъ, потому что, хотя, при уменьшеніи степени намагничиванія стрѣлки, вліяніе земного магнитизма, уменьшается, но во столько же разъ уменьшается и отклоняющая сила. Можно, впрочемъ, уменьшить дѣйствіе земного магнитизма, употребляя, вмѣсто обыкновенной магнитной стрѣлки, *астатическую*. Она состоитъ изъ двухъ параллельныхъ стрѣлокъ ns и n_1s_1 (фиг. 365), прикрѣпленныхъ къ одной мѣдной проволокѣ g, которая виситъ на нити x. Стрѣлки обращены одноименными полюсами въ противоположныя стороны. Если бы стрѣлки были одинаково намагничены, то принимали бы безразличное положеніе въ пространствѣ; но совершенно астатическую систему приготовить невозможно, а потому земной магнитизмъ, хотя съ весьма слабою силою, удерживаетъ обѣ стрѣлки въ плоскости магнитнаго меридіана. Астатическую систему располагаютъ такъ, чтобы одна стрѣлка ns лежала внутри оборотовъ мультипликатора, а другая n_1s_1—внѣ. Слѣдуя правилу Ампера, не трудно убѣдиться, что часть bc оборотовъ отклоняетъ обѣ стрѣлки въ одну сторону; части ba, cd и da дѣйствуютъ противоположно, но слабѣе, чѣмъ bc. Такимъ образомъ, чрезъ употребленіе астатической стрѣлки уменьшается вліяніе земного магнитизма, и, слѣдовательно, увеличивается чувствительность мультипликатора. Идея мультипликатора съ астатической стрѣлкой принадлежитъ Нобили.



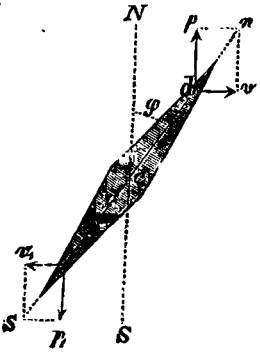
Фиг. 365.

Съ помощію мультипликатора, надлежащимъ образомъ устроеннаго,

можно не только обнаружить присутствіе гальваническаго тока, но даже точно измѣрить силу его, то есть опредѣлить, во сколько разъ одинъ токъ болѣе другого, принимаемаго за единицу мѣры. Такіе приборы называются *гальванометрами*.

Гальванометры имѣютъ весьма разнообразное устройство; мы разсмотримъ два: *тангенсъ-буссоль* и *синусъ-буссоль*, названные такъ потому, что въ первомъ сила тока пропорціональна тангенсу угла отклоненія стрѣлки отъ магнитнаго меридіана, а во второмъ—синусу того же угла.

Пусть ns (фиг. 366) представляетъ магнитную стрѣлку, отклоненную дѣйствіемъ тока отъ магнитнаго меридіана NS; предположимъ, что обороты проволоки мультипликатора параллельны NS. Земной магнитизмъ дѣйствуетъ на каждую точку стрѣлки. Отсюда происходитъ множество силъ, которыя можно замѣнить парою силъ p и p_1, параллельныхъ магнитному меридіану и стремящихся поставить стрѣлку въ эту плоскость. Гальваническій токъ также дѣйствуетъ на каждую точку стрѣлки; отклоняющая сила можетъ быть равнымъ образомъ приведена къ парѣ силъ v и v_1, перпендикулярныхъ къ плоскости оборотовъ проволоки или, что все равно, къ магнитному меридіану, и имѣющихъ тѣ же точки приложенія, что и силы p и p_1. Равновѣсіе магнитной стрѣлки возможно только въ такомъ случаѣ, когда равнодѣйствующая сила p и v равна и прямо противна равнодѣйствующей p_1 и v_1, и когда, слѣдовательно, направленія обѣихъ равнодѣйствующихъ совпадаютъ съ линіею ns, соединяющей полюсы стрѣлки. Называя уголъ Ncn отклоненія стрѣлки отъ магнитнаго меридіана чрезъ φ и замѣчая, что $\angle Ncn = \angle pdn$, будемъ имѣть изъ треугольника pdn:



Фиг. 366.

$$\operatorname{tang} \varphi = \frac{v}{p}, \text{ откуда } v = p \,.\, \operatorname{tang} \varphi.$$

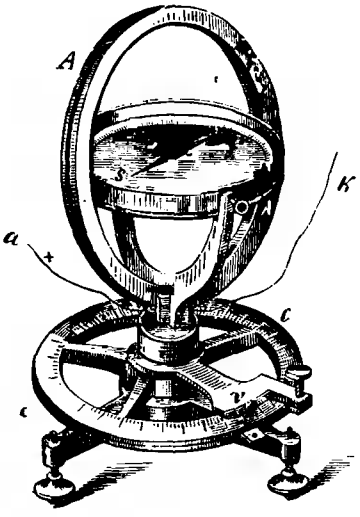
Для небольшого промежутка времени, количество p можно считать постояннымъ. Отклоняющая сила v зависитъ отъ силы тока, числа оборотовъ проволоки, разстоянія ихъ отъ стрѣлки, положенія стрѣлки въ отношеніи оборотовъ и вообще отъ устройства гальванометра. Если допустить, что отклоняющая сила не зависитъ отъ положенія стрѣлки въ отношеніи оборотовъ, то, для одного и того же гальванометра, сила v будетъ пропорціональна силѣ тока, и, значитъ, сила тока, которую мы назовемъ чрезъ F, будетъ пропорціональна силѣ v. Но какъ сила v пропорціональна количеству $\operatorname{tang} \varphi$, то и сила тока F пропорціональна $\operatorname{tang} \varphi$. Иначе сказать: если другой токъ F_1 отклонитъ въ гальванометрѣ магнитную стрѣлку на уголъ φ_1, то будемъ имѣть пропорцію

$$\frac{F}{F_1} = \frac{\operatorname{tang} \varphi}{\operatorname{tang} \varphi_1}.$$

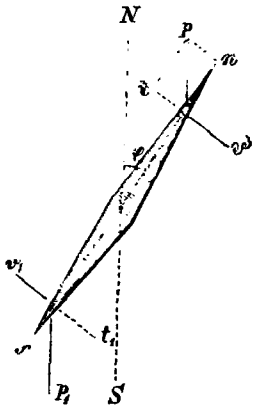
Или еще иначе: отношеніе между двумя токами равно отношенію тангенсовъ угловъ отклоненія магнитной стрѣлки отъ магнитнаго меридіана. Поэтому, принявъ нѣкоторой силы токъ F за единицу, можно всякій другой токъ, при одномъ и томъ же гальванометрѣ выразить числомъ. Приборъ, подобный изображенному на фигурѣ 364, или какого нибудь иного устройства, если только въ

немъ можно съ точностью измѣрять уголъ отклоненія магнитной стрѣлки, можетъ употребляться, какъ гальванометръ. Къ сожалѣнію, предыдущую пропорцію можно допустить только для весьма малыхъ φ и φ_1, потому что отклоняющая сила зависитъ отъ положенія стрѣлки въ отношеніи оборотовъ. Въ гальванометрѣ синусъ-буссоль этотъ недостатокъ устраненъ.

Мѣдная проволока, обвитая шелкомъ, которой концы видны въ a и k (фиг. 367), дѣлаетъ нѣсколько оборотовъ около деревяннаго кольца AA; въ центрѣ кольца помѣщена магнитная стрѣлка ns, движущаяся по кругу, раздѣленному на градусы. Кольцо AA можетъ вращаться около вертикальной оси, вмѣстѣ съ верніеромъ v, помощію котораго можно отсчитывать углы по горизонтальному кругу cc. Когда по проволокѣ ak пропущенъ токъ и стрѣлка отклонилась отъ магнитнаго меридіана, то кольцо AA поворачиваютъ вслѣдъ за стрѣлкой до тѣхъ поръ, пока плоскости обоихъ, то есть кольца и стрѣлки, не совпадутъ. По кругу cc отсчитываютъ уголъ φ, составленный плоскостью кольца AA, или, что все равно, стрѣлкою sn (фиг. 368), съ магнитнымъ меридіаномъ NS. Отклоняющая сила приводится здѣсь къ парѣ силъ v и v_1, перпендикулярныхъ къ длинѣ стрѣлки ns. Разложимъ силу земного магнитизма p на двѣ силы n и t—по направленію стрѣлки и по направленію къ ней пер-



Фиг. 367.



Фиг. 368.

пендикулярному; то же сдѣлаемъ и съ силою p_1, разложивъ ее на t_1 и s. Силы n и s, какъ равныя и прямо противныя, взаимно уничтожатся. Равновѣсіе стрѣлки возможно только въ томъ случаѣ, когда $v=t$. Но какъ $t=p \sin \varphi$, то

$$v=p \sin \varphi;$$

слѣдовательно, отклоняющая сила оборотовъ пропорціональна синусу угла отклоненія магнитной стрѣлки.

Такъ какъ положеніе стрѣлки относительно оборотовъ, при указанномъ способѣ наблюденій, всегда бываетъ одно и то же, то отклоняющая сила, для одного и того же гальванометра, зависитъ только отъ гальваническаго тока и должна быть пропорціональна послѣднему; поэтому, обратно, гальваническій токъ долженъ быть прямо пропорціоналенъ синусу угла отклоненія. Назвавъ

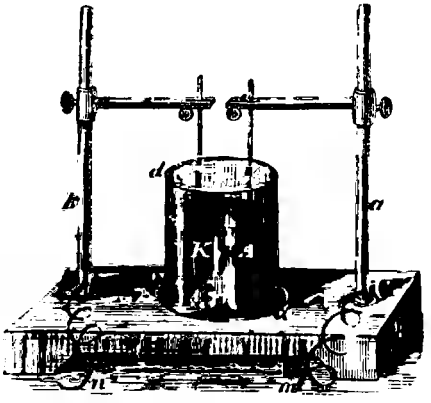
чрезъ F и F_1 два тока, а чрезъ φ и φ_1—соотвѣтствующіе углы отклоненія магнитной стрѣлки, получимъ:

$$\frac{F}{F_1} = \frac{\sin \varphi}{\sin \varphi_1}.$$

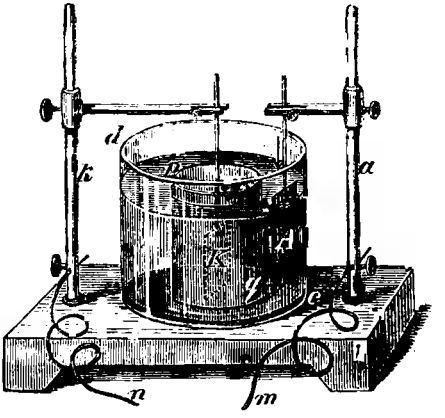
Отсюда видимъ: чтобы узнать во сколько разъ одинъ токъ болѣе другого, должно вычислить отношеніе синусовъ угловъ отклоненія магнитной стрѣлки, произведенныхъ этими токами.

Синусъ-буссоль можетъ служить, какъ тангенсъ-буссоль; тогда кольцо A надо поставить въ магнитный меридіанъ.

275. Приложеніе мультипликатора къ изслѣдованію электричества, освобождаемаго химическими явленіями. Опредѣленіе силы и рода электричества, освобождаемаго химическими явленіями, гораздо удобнѣе производить мультипликаторомъ, нежели электроскопомъ. Для этого, къ металлическимъ стойкамъ a и k (фиг. 369) прикрѣпляютъ пластинки A и K изъ испытуемыхъ металловъ, и погружаютъ въ какую либо жидкость, налитую въ сосудъ dd. Стойки a и k соединяютъ проволоками m и n съ мультипликаторомъ. По отклоненію магнитной стрѣлки судятъ о силѣ и направленіи тока. Когда изслѣдуютъ жидкости, то къ стойкамъ a и k (фиг. 370) прикрѣпляютъ



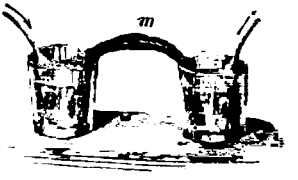
Фиг. 369.



Фиг. 370.

пластинки A и K изъ металловъ, неподвергающихся химическому дѣйствію испытуемыхъ жидкостей, изъ которыхъ одна наливается въ стеклянный сосудъ dc, а другая—въ глиняный горшокъ pq изъ слабо обожженной глины, чтобы жидкости, чрезъ поры горшка, могли придти въ соприкосновеніе. Стойки a и k соединяются проволоками m и n съ мультипликаторомъ.

Можно поступать еще иначе. Берутъ два стеклянные сосуда; въ каждый наливаютъ жидкости и погружаютъ по металлической пластинкѣ A и B (фиг. 371), которыя сообщены съ мультипликаторомъ. Оба сосуда соединяютъ свѣтильней m, или асбестомъ, по которымъ жидкости поднимаются и приходятъ въ соприкосновеніе.



Фиг. 371.

Изслѣдованія съ помощію электроскопа и мультипликатора привели къ слѣдующимъ результатамъ. Когда кислота приходитъ въ соприкосновеніе съ основаніемъ, то кислота заряжается по-

ложительно, а основаніе — отрицательно. Поэтому, металлическая пластинка, погруженная въ кислоту, дѣлается анодомъ; другая же, опущенная въ основаніе,—катодомъ. Вода, въ соприкосновеніи съ основаніемъ, заряжается положительно, съ кислотами—отрицательно. Вообще всякія двѣ жидкости, если только онѣ способны производить взаимное химическое дѣйствіе, заряжаются при соприкосновеніи: одна—положительно, другая—отрицательно.

При соприкосновеніи металла съ жидкостью, способною производить на него химическое дѣйствіе, металлъ заряжается отрицательно, жидкость—положительно.

Въ случаѣ двухъ металловъ, погруженныхъ въ одну и ту же жидкость, металлъ, наиболѣе жидкостью измѣняемый, заряжается отрицательно, а положительное электричество протекаетъ чрезъ жидкость въ металлъ, менѣе измѣняемый. Для каждой жидкости всѣ металлы можно расположить въ рядъ, гдѣ предыдущій металлъ въ отношеніи послѣдующаго электроположителенъ; такимъ образомъ, въ случаѣ воднаго раствора кали, этотъ рядъ будетъ: серебро, мѣдь, сурьма, висмутъ, никкель, желѣзо, олово, свинецъ, кадмій, цинкъ. Если напр. взяты мѣдь и свинецъ, то на мѣди явится свободное положительное электричество, а на свинцѣ—отрицательное. — Чѣмъ далѣе отстоятъ другъ отъ друга въ этомъ ряду металлы, тѣмъ электровозбудительная сила болѣе.

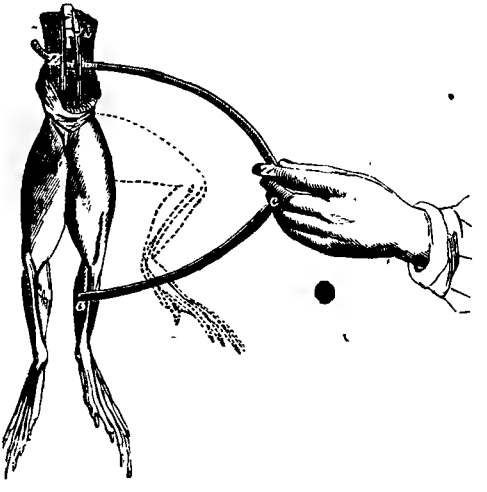
276. Открытіе гальваническаго тока. Названіе свое гальваническій токъ получилъ отъ имени профессора анатоміи въ Болоньи, Гальвани. Занимаясь въ 1780 году изслѣдованіемъ нервной системы животныхъ, этотъ ученый случайно замѣтилъ, что лягушка, недавно убитая, и съ которой снята кожа, будучи положена на столъ, каждый разъ вздрагиваетъ, когда извлекаютъ искру изъ кондуктора электрической машины. Желая узнать, произведетъ ли подобное явленіе разряженіе грозового облака, онъ прицѣпилъ лягушку за позвоночный хребетъ къ мѣдной проволокѣ, которую привязалъ къ желѣзнымъ перилам балкона, и замѣтилъ, что, какъ только лапка лягушки касалась перилъ, то тѣло ея вздрагивало. Такимъ образомъ, наука обладала новымъ фактомъ; оставалось только его изслѣдовать. Очевидно во первыхъ, что для произведенія явленія, какая бы ни была его причина, необходимо прикосновеніе двухъ разнородныхъ металловъ: желѣза и мѣди, между собою и съ тѣломъ лягушки. Чтобы простѣйшимъ образомъ удовлетворить этимъ условіямъ и получить наисильнѣйшее дѣйствіе, поступаютъ такъ. У живой лягушки быстро отрѣзаютъ голову и переднія ноги, оставляя только хребетъ и заднія ноги (фиг. 372); потомъ сдираютъ кожу и очищаютъ два пучка нервовъ, идущихъ вдоль позвоночнаго столба; подъ нихъ пропускаютъ одинъ изъ концовъ дугообразной пластинки, состоящей изъ двухъ разнородныхъ металловъ, напримѣръ мѣди *cc* и цинка *zz*, а другимъ касаются берцоваго мускула ноги; тѣло лягушки сильно вздрагиваетъ, и нога отбрасывается въ положеніе, показанное на фигурѣ пунктиромъ. Опытъ можно повторить сколько угодно разъ, пока члены лягушки не пріобрѣтутъ отвердѣлость, свойственную всѣмъ трупамъ. Другія животныя представляютъ подобное же явленіе; нервы теплокровныхъ животныхъ обладаютъ меньшею раздражительностью и скоро ее теряютъ послѣ смерти.

Если металлическая дуга приготовлена изъ одного металла, напр. мѣди, то и тогда получаются сотрясенія, хотя весьма слабыя. То же можно сдѣлать и безъ металла, приводя въ непосредственное соприкосновеніе нервъ съ мускуломъ (фиг. 384).

Гальвани, для объясненія открытаго имъ явленія, предположилъ, что въ нервахъ существуетъ *нервная жидкость*, перетекающая изъ нерва по металлу въ мускулъ и производящая сотрясеніе,— уподобляя тѣло животнаго лейденской банкѣ, гдѣ мускулы и нервы, заряженные разнородными нервными жидкостями, представляютъ ея обкладки.

277. Теорія соприкосновенія. Вольта, профессоръ физики въ Павіи, современникъ Гальвани, уже прославившійся своими изслѣдованіями по электричеству, старался доказать, что гипотеза нервныхъ жидкостей противорѣчитъ опыту. Главный его доводъ былъ тотъ, что два разнородные металла производятъ гораздо большее дѣйствіе, нежели одинъ металлъ; слѣдовательно, причина явленія лежитъ не въ лягушкѣ и ея нервныхъ жидкостяхъ, а въ соприкосновеніи металловъ.

Въ замѣнъ этой гипотезы, Вольта далъ свою и произвелъ цѣлый рядъ опытовъ, имѣвшихъ цѣлью доказать, что въ точкахъ соприкосновенія разнородныхъ веществъ естественное электричество разлагается: на одномъ тѣлѣ является избытокъ положительнаго, на другомъ — отрицательнаго. Вотъ одинъ изъ этихъ опытовъ. Вольта бралъ два кружка изъ мѣди и цинка, и, положивъ цинковый на руку, накладывалъ на него мѣдный; потомъ, приведя въ соприкосновеніе мѣдный кружокъ съ шарикомъ *n* (фиг. 351) весьма чувствительнаго электроскопа, онъ нашелъ, что золотыя пластинки электроскопа зарядились отрицательнымъ электричествомъ. Но такъ какъ при этомъ опытѣ электричество могло произойти отъ тренія пластинокъ, или отъ ихъ взаимнаго сжатія, то, для устраненія возраженія, Вольта спаялъ мѣдную и цинковую пластинки и, держа цинковую въ рукѣ, коснулся мѣдной шарика электроскопа; результатъ былъ тотъ же самый. По мнѣнію Вольта, его опыты прямо приводятъ къ слѣдующей гипотезѣ, названной *гипотезой соприкосновенія*.



Фиг. 372.

Въ точкахъ соприкосновенія разнородныхъ тѣлъ зарождается особая сила, которую Вольта назвалъ *электровозбудительной*, и которая разлагаетъ естественное электричество тѣлъ: положительное гонитъ въ одну сторону, а отрицательное въ противную, и препятствуетъ имъ соединиться. Такъ, въ случаѣ мѣди и цинка, на первой получается отрицательное электричество, а на второмъ—положительное. Каждый металлъ можетъ зарядиться положительно и отрицательно, смотря по тому, съ какимъ другимъ металломъ приходитъ въ соприкосновеніе. Такъ что всѣ металлы можно расположить въ рядъ, гдѣ предыдущее тѣло получаетъ положительное электричество, а послѣдующее—отрицательное:

+ Цинкъ, олово, желѣзо, латунь, мѣдь, серебро, платина —.

Здѣсь видимъ, что серебро при соприкосновеніи съ платиной заряжается электричествомъ положительнымъ, а съ цинкомъ—отрицательнымъ. Чѣмъ далѣе отстоятъ другъ отъ друга въ этомъ ряду металлы, тѣмъ болѣе электровозбудительная сила.

Тѣла металлическія даютъ наибольшую *электровозбудительную силу*: неметаллическія—никакой, или весьма малую. Если сложено вмѣстѣ нѣсколько металловъ, наприм. цинкъ, мѣдь и серебро, то общая электровозбудительная сила равна электровозбудительной силѣ крайнихъ металловъ: цинка и серебра.

На основаніи гипотезы Вольта, можно объяснить опыты Гальвани. Разнородныя электричества, зародившіяся въ точкахъ соприкосновенія цинка и мѣди, соединяются чрезъ тѣло лягушки и производятъ въ ней сотрясенія. Хотя въ точкахъ соприкосновенія металловъ къ лягушкѣ также должны произойти электровозбудительныя силы, но онѣ столь малы сравнительно съ электровозбудительною силою металловъ, что перевѣсъ остается на сторонѣ послѣдней: въ случаѣ однородной дуги, ихъ дѣйствіе обнаруживается слабымъ вздрагиваніемъ лягушки.

278. Электрохимическая гипотеза гальваническаго тока. Опыты надъ происхожденіемъ электричества отъ химическаго дѣйствія тѣлъ даютъ поводъ съ нѣкоторою вѣроятностью полагать, что причина гальваническаго тока заключается, вопреки гипотезѣ Вольта, не въ соприкосновеніи разнородныхъ тѣлъ, но въ химическомъ дѣйствіи веществъ; отсюда родилась электрохимическая гипотеза. По этой гипотезѣ, при соприкосновеніи тѣлъ, химически другъ на друга дѣйствующихъ, является свободное электричество: на одномъ тѣлѣ положительное, а на другомъ — отрицательное. Когда металлъ растворяется въ жидкости, первый заряжается отрицательно, а вторая—положительно; въ случаѣ двухъ металловъ, электричество положительное или гальваническій токъ течетъ изъ наиболѣе измѣняемаго металла въ жидкость. Приводимъ сильнѣйшіе доводы въ пользу электрохимической гипотезы и вмѣстѣ съ тѣмъ противорѣчащіе гипотезѣ Вольта.

1) Если бы причина тока лежала въ соприкосновеніи металловъ, то направленіе его оставалось бы неизмѣннымъ при замѣненіи одной жидкости другою что не справедливо.

2) Прокрахмаленный бумажный листокъ смачиваютъ въ водномъ растворѣ іодистаго калія и прикладываютъ его къ цинковому кружку *z* (фиг. 354) гальваническаго элемента; конецъ *a* мѣдной проволоки *Aa*, соединенной помощію мѣдной пуговки *A* съ мѣднымъ кружкомъ *c*, приводятъ въ соприкосновеніе съ бумажнымъ листкомъ. Въ точкѣ прикосновенія бумага дѣлается синею. Синій цвѣтъ происходитъ отъ дѣйствія іода на крахмалъ, іодъ же освободился изъ іодистаго калія. Слѣдовательно, чрезъ бумагу пробѣжало электричество, подъ вліяніемъ котораго іодистый калій разложился на іодъ и калій. То же явленіе можно произвести помощію электрической машины и всякаго гальваническаго элемента. На основаніи гипотезы Вольта, въ предыдущемъ опытѣ не должно быть освобожденія электричества, потому что нигдѣ нѣтъ соприкосновенія металловъ. а, слѣдовательно, и іодистый калій не долженъ бы былъ подвергаться разложенію.

Помощію электрохимической гипотезы, опыты Гальвани и Вольта легко объясняются. Въ опытѣ Гальвани причина электричества лежитъ въ дѣйствіи

жидкостей лягушки на разнородные металлы. Въ случаѣ однородной дуги, явленіе содраганія происходитъ отъ собственнаго электричества лягушки.

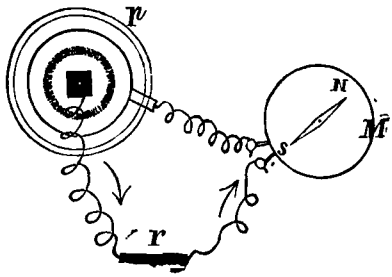
Элементарный опытъ Вольта съ цинковымъ и мѣднымъ кружками объясняется дѣйствіемъ воздуха, водяныхъ паровъ и влажности руки на цинкъ. Когда наприм. цинковый кружокъ лежитъ на рукѣ, то влажность руки дѣйствуетъ химически на цинкъ, и положительное электричество передается чрезъ руку въ землю, а отрицательное входитъ чрезъ оба кружка—цинковый и мѣдный—въ электроскопъ.

279. Сила гальваническаго тока. Въ незамкнутой гальванической цѣпи разнородныя электричества, производимыя веществами уединеннаго гальванич. элемента, скопляются на электродахъ и скоро достигаютъ наибольшаго напряженія, пропорціональнаго *электровозбудительной силѣ* элемента, или той силѣ, которая разлагаетъ разнородныя электричества и потомъ удерживаетъ ихъ отъ взаимнаго соединенія. Если анодъ и катодъ соединены проводникомъ, то оба электричества будутъ уничтожаться, а на мѣсто ихъ, отъ взаимнаго дѣйствія веществъ гальванической пары, явятся новыя электричества; такимъ образомъ, получается токъ или непрерывное теченіе электрическихъ жидкостей. Всякое тѣло, введенное въ цѣпь, представляетъ большее или меньшее сопротивленіе этому теченію; чѣмъ сопротивленіе болѣе, тѣмъ въ меньшемъ количествѣ электричества будутъ пробѣгать по проводнику; токъ даже можетъ вовсе прекратиться, если для замыканія цѣпи употребить непроводникъ электричества.

Количество электричества, протекающаго въ единицу времени чрезъ поперечный разрѣзъ, сдѣланный въ какомъ либо мѣстѣ проводника, называется *силою гальваническаго тока*; весьма замѣчательно, что она зависитъ только отъ двухъ причинъ: отъ электровозбудительной силы элемента или, что все равно, напряженія электричества на электродахъ, и отъ сопротивленія цѣпи; она возрастаетъ съ увеличеніемъ электровозбудительной силы и съ уменьшеніемъ сопротивленія. Такимъ образомъ, чтобы судить о силѣ гальваническаго тока, надо знать только сопротивленіе всей гальванической цѣпи и величину электровозбудительной силы, которая дѣйствуетъ въ этой цѣпи. Мы перейдемъ теперь къ способамъ измѣренія сопротивленій и электровозбудительныхъ силъ.

280. Сопротивленіе. Сопротивленіе зависитъ отъ вещества тѣла и его размѣровъ. Его можно измѣрить, принимая сопротивленіе какого либо проводника за единицу мѣры. Будемъ считать *единицей сопротивленія* гальваническому току—сопротивленіе мѣдной проволоки толщиною въ одну линію и длиною въ футъ; сопротивленіе мѣдной проволоки той же толщины, но длиною въ 2 фута, выразится числомъ 2, длиною въ 3 фута—числомъ 3, и т. д. Чтобы опредѣлить отношеніе

сопротивленія какого либо проводника къ единицѣ сопротивленій, составимъ гальваническую цѣпь (фиг. 373) изъ элемента p, мультипликатора M и этого проводника r. Пусть магнитная стрѣлка въ мультипликаторѣ отклонилась на уголъ n отъ магнитнаго меридіана. Выведемъ изъ цѣпи испытуемый проводникъ и замѣнимъ его мѣдной проволокой толщиною въ линію. Если сопротивленіе ея не равно сопротивленію проводника r, то сила тока измѣнится и уголъ отклоненія магнитной стрѣлки будетъ болѣе или менѣе n. Укорачивая, или удлиняя ту часть мѣдной проволоки, которая введена въ цѣпь, можно получить прежнее отклоненіе n въ мультипликаторѣ. Сопротивленіе этой части проволоки будетъ равно сопротивленію проводника r, который прежде былъ въ цѣпи; если бы длина ея равнялась 10 фут., то искомое сопротивленіе выразилось бы числомъ 10. Понятно, нѣтъ никакой необходимости употреблять для измѣренія сопротивленій именно принятую нами единицу; такимъ образомъ, во Франціи принимается за единицу сопротивленіе мѣдной или серебряной проволоки, длиною въ метръ и толщиною въ миллиметръ.



Фиг. 373.

Такъ какъ сопротивленіе металла много зависитъ отъ чистоты, то Якоби приготовилъ множество мѣдныхъ проволокъ, сдѣланныхъ изъ одной и той же мѣди, совершенно одинаковыхъ сопротивленій, и разослалъ ихъ по всѣмъ главнѣйшимъ физическимъ кабинетамъ, предлагая сопротивленіе такой проволоки принять за единицу.

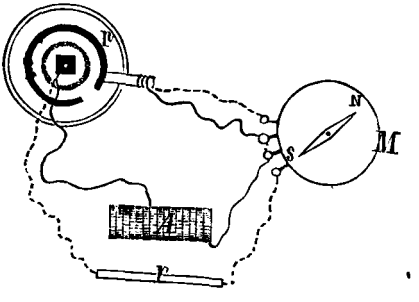
Въ настоящее время, преимущественно употребляется единица Сименса; это есть сопротивленіе ртутнаго столбика, высотою въ метръ, съ поперечнымъ разрѣзомъ въ квадратный миллиметръ, при 0^0.

Сопротивленіе проводника опредѣляется посредствомъ особенныхъ приборовъ; мы разсмотримъ здѣсь только *агометръ* Якоби. Главнѣйшая часть его— проволока, винтообразно намотанная на мраморный цилиндръ MM (фиг. 374), и которой большую или меньшую часть можно вводить въ гальваническую цѣпь. Мраморный цилиндръ можно вращать на оси помощію рукоятки S; къ цилиндру прикрѣпленъ мѣдный кругъ c, раздѣленный по окружности на 250 равныхъ частей. Одинъ изъ электродовъ гальваническаго элемента соединяется съ винтомъ A, другой съ K; винтъ A сообщенъ чрезъ стойку r и мѣдный кругъ c, съ однимъ концомъ a проволоки агометра, которой другой конецъ b погруженъ въ мраморъ; винтъ K соединенъ съ мѣднымъ прутомъ cp, на которомъ насажено подвижное колесо h съ углубленіемъ по направленію окружности; углубленіе упирается въ проволоку агометра. Если анодъ цѣпи сообщенъ съ A, то токъ будетъ проходить, чрезъ стойку r и чрезъ кругъ c, въ ту часть

проволоки, которая находится между кругомъ *c* и колесомъ *h*, оттуда въ стержень *cp* и, наконецъ, чрезъ винтъ *K*, въ гальваническую пару. Если вращаютъ цилиндръ, то колесо *h* катится по оборотамъ проволоки агометра; отъ этого, смотря по направленію вращенія мраморнаго цилиндра, увеличивается, или уменьшается длина той части проволоки, которая введена въ цѣпь. Стержень *cp* имѣетъ дѣленія, показывающія цѣлое число введенныхъ оборотовъ проволоки; дробныя же части оборотовъ отсчитываютъ по металлическому кругу *c*, замѣчая противъ какого дѣленія стоитъ черта, сдѣланная на неподвижной стойкѣ *r*. Когда хотятъ опредѣлить сопротивленіе тѣла, то агометръ ставятъ на нуль, чтобы токъ проходилъ только чрезъ постоянныя части прибора: винты *A* и *K*, стойку *r*, мѣдный кругъ *c*, стержень *cp* и колесо *h*, минуя проволоку агометра, и вводятъ въ ту же цѣпь мультипликаторъ и испытуемый проводникъ. Замѣтивъ отклоненіе магнитной стрѣлки, проводникъ выводятъ изъ цѣпи; тогда, отъ уменьшенія сопротивленія, сила тока увеличится, и стрѣлка мультипликатора отклонится болѣе прежняго. Потомъ вращаютъ цилиндръ агометра, вводя постепенно его проволоку въ цѣпь, пока не получатъ прежняго отклоненія стрѣлки и, слѣдовательно, той же силы тока. Сопротивленіе этой проволоки, очевидно, будетъ равно сопротивленію испытуемаго проводника. Если бы при первомъ наблюденіи, агометръ стоялъ не на нулѣ, то пришлось бы сдѣлать два отсчитыванія на агометрѣ и взять между ними разность. Если при томъ опредѣлено отношеніе сопротивленія одного оборота проволоки агометра къ единицѣ сопротивленій, то, умножая наблюденное число оборотовъ на это отношеніе, получимъ искомое сопротивленіе.

Фиг. 374.

Всѣ гальваническіе элементы въ большей или меньшей мѣрѣ не постоянны; поэтому, измѣненіе въ отклоненіи магнитной стрѣлки можетъ произойти не только отъ замѣны въ цѣпи одного проводника другимъ, но также отъ измѣненія силы гальваническаго элемента, а тогда сопротивленіе будетъ измѣрено не точно. Чтобы избѣжать этой погрѣшности, употребляется *дифференціальный* способъ, требующій особаго устройства мультипликатора, называемаго также дифференціальнымъ. Этотъ снарядъ отличается отъ обыкновеннаго мультипликатора тѣмъ, что въ немъ намотаны вмѣстѣ двѣ совершенно одинаковыя проволоки. Гальваническій токъ можно пустить по той или другой проволокѣ, причемъ отклоненіе магнитной стрѣлки будетъ одно и то же. Для измѣренія сопротивленія проводника *r* (фиг. 375), гальваническій токъ заставляютъ выходить изъ элемента *p* по двумъ путямъ или вѣтвямъ. Въ одной, обозначенной пунктиромъ, помѣщаютъ испытуемый проводникъ *r*, въ другой, изображенной



Фиг. 375.

непрерывной линіей, — агометръ A; въ каждую вѣтвь, кромѣ того, введена одна изъ проволокъ дифференціальнаго мультипликатора, но такъ однакожъ, что токи въ немъ имѣютъ противоположныя направленія. Опытъ показываетъ, что сила вѣтвленныхъ токовъ зависитъ отъ сопротивленія вѣтвей: большая часть тока уходитъ въ ту вѣтвь, которой сопротивленіе меньше. Если сопротивленія равны, то и токи равны, и тогда магнитная стрѣлка остается въ магнитномъ меридіанѣ. Вводя и выводя изъ цѣпи мало по малу проволоку агометра, можно сопротивленіе вѣтвей привести къ равенству и поставить магнитную стрѣлку на нуль. Затѣмъ выводятъ изъ цѣпи проводникъ r и смыкаютъ концы проволокъ, съ которыми онъ былъ въ соприкосновеніи. Тогда сопротивленіе этой вѣтви (пунктирной) уменьшится, сила тока въ ней увеличится, а въ другой вѣтви уменьшится, и магнитная стрѣлка выйдетъ изъ магнитнаго меридіана. Чтобы сдѣлать вѣтвленные токи равными, надо мало по малу выводить изъ цѣпи проволоку агометра, пока магнитная стрѣлка не станетъ опять на нуль. Сопротивленіе выведенной проволоки агометра равно сопротивленію проволоки r. Указанная выше неточность, проистекающая отъ непостоянства гальваническаго элемента, здѣсь не имѣетъ мѣста, потому что, какова бы ни была сила тока, онъ всегда дѣлится пополамъ въ вѣтвяхъ одинаковыхъ сопротивленій.

Изслѣдуемыя жидкости заключались въ длинные стеклянные ящики, или трубки, въ которыя помѣщались металлическія пластинки, служившія электродами и занимавшія либо весь поперечный разрѣзъ ящика, либо часть его.

281. Изъ подобныхъ изысканій найдены были слѣдующіе законы сопротивленія:

1) Сопротивленіе металлической проволоки прямо пропорціонально длинѣ и обратно пропорціонально площади поперечнаго разрѣза или, что все равно, квадрату діаметра проволоки; оно увеличивается съ возвышеніемъ температуры; такъ, сопротивленіе мѣди при нагрѣваніи отъ 0^0 до 200 увеличивается почти вдвое *).

2) Сопротивленіе жидкостей слѣдуетъ тому же закону, если только площадь электродовъ равна площади поперечнаго разрѣза ящика, или трубки, въ которыхъ жидкость заключена, съ тою только разницею, что съ возвышеніемъ температуры сопротивленіе ея уменьшается.

3) Когда поперечный разрѣзъ жидкости весьма великъ относительно электродовъ, то увеличеніе его не производитъ большого вліянія на сопротивленіе и даже никакого вліянія за извѣстнымъ предѣломъ. Это показываетъ, что электрическій токъ занимаетъ въ жидкости объемъ, котораго каждый поперечный разрѣзъ болѣе площади электродовъ, какъ это видно на фигурѣ 376, гдѣ A и K означаютъ электроды, а стрѣлки—гальваническій токъ.

Въ нижеслѣдующей таблицѣ показано сопротивленіе разныхъ веществъ, въ предположеніи, что сопротивленіе мѣди равно 1.

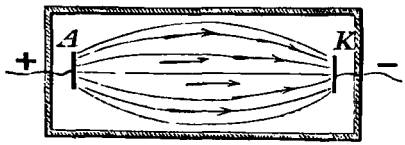
---

*) Сопротивленіе стекла, селена, угля и, вѣроятно, многихъ другихъ неметаллическихъ твердыхъ тѣлъ, съ возвышеніемъ температуры, уменьшается.

Серебро. . .	0,95	Платина	11,08
Мѣдь	1,00	Ртуть	49,44
Золото	1,38	Азотная кислота	10000
Кадмій	3,63	Насыщенный растворъ поваренной соли	28000
Цинкъ	3,69	Насыщенный растворъ мѣднаго купороса	166000
Олово.	6,54		
Желѣзо	7,35		
Свинецъ. . . .	10,81	Дистиллированная вода	696300000000*)

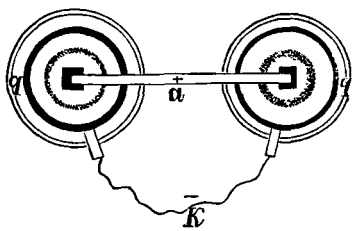
Изъ этой таблицы видимъ, что лучшій проводникъ электричества есть серебро, потомъ мѣдь. Жидкости вообще худо проводятъ электричество; кислоты и водные растворы металлическихъ солей—лучше воды.

282. Сопротивленіе гальваническихъ элементовъ. Составимъ гальванич. цѣпь изъ элемента, мультипликатора и агометра и замѣтимъ отклоненіе магнитной стрѣлки. Введемъ теперь въ ту же цѣпь еще гальваническій элементъ. Сила тока измѣнится отъ двухъ причинъ: увеличится сопротивленіе цѣпи и прибавится новая электровозбудительная сила, а потому, приведя помощію агометра магнитную стрѣлку въ прежнее положеніе, мы не получимъ сопротивленія элемента.



Фиг. 376.

Чтобы найти эту величину, надо уничтожить дѣйствіе электровозбудительной силы испытуемаго элемента. Представимъ себѣ 2 одинаковые гальваническіе элемента q (фиг. 377) и соединимъ ихъ аноды проволокой a, а катоды проволокой k. Въ проволокахъ a и k тока не будетъ, потому что электровозбудительныя силы дѣйствуютъ въ противоположныя стороны, — только проволока a зарядится положительно, а проволока k—отрицательно. Если въ цѣпь ввести мультипликаторъ, то стрѣлка останется въ покоѣ. Изъ этого выходитъ: если въ гальваническую цѣпь вставить два одинаковые гальваническіе элемента по противоположнымъ направленіямъ, то сила тока измѣнится только отъ того, что прибавится новое сопротивленіе. Для большей точности, лучше воспользоваться дифференціальной методой. Фигура 378 изображаетъ расположеніе

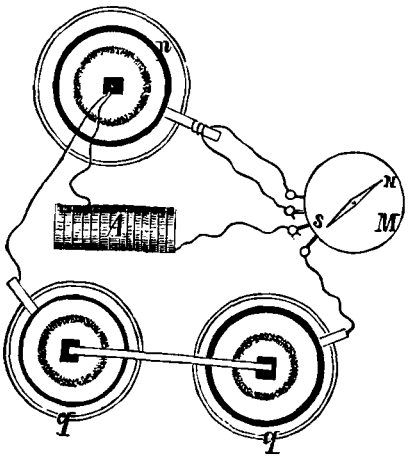


Фиг. 377.

*) Такое сопротивленіе имѣетъ вода, особенно тщательно дистиллированная и притомъ въ прикосновеніи только съ платиной. Находясь въ прикосновеніи съ воздухомъ, вода начинаетъ лучше проводить электричество и чрезъ 4 сутокъ сопротивленіе ея уменьшается въ 20 разъ. Это происходитъ отъ растворенія минеральныхъ частицъ, носящихся въ воздухѣ въ видѣ пыли. Вода, перегнанная въ стеклянныхъ приборахъ, представляетъ меньшее сопротивленіе, по причинѣ растворимости стекла.

приборовъ и отличается отъ фигуры 375 только тѣмъ, что на мѣсто проводника r вставлены два испытуемые элемента q. Сопротивленіе, найденное помощію агометра, надо раздѣлить на 2, и мы получимъ сопротивленіе одного элемента.

283. Формула Ома. Германскій ученый Омъ нашелъ, что *сила гальваническаго тока прямо пропорціональна напряженію электричества на электродахъ или электровозбудительной силѣ и обратно пропорціональна сопротивленію всѣхъ тѣлъ, составляющихъ гальваническую цѣпь*, то есть батареи, мультипликатора, соединительныхъ проволокъ и проч. Законъ этотъ, справедливость котораго была подтверждена впослѣдствіи на опытѣ Ленцомъ, Пулье и другими, приводитъ къ слѣдующей весьма важной формулѣ. Примемъ за единицу токовъ такой токъ, который производится единицею напряженія электричества, когда сопротивленіе всей цѣпи есть также единица. Пусть напряженіе увеличилось въ K разъ, а сопротивленіе осталось равнымъ единицѣ; сила тока тогда выразится числомъ K. Если сопротивленіе всей цѣпи увеличится въ R разъ, а электровозбудительная сила, попрежнему, будетъ K, то сила тока, которую назовемъ чрезъ F, будетъ равна $\frac{K}{R}$. Итакъ,



Фиг. 378.

$$F=\frac{K}{R} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (1)$$

За единицу электровозбудительной силы можно принять электровозбудительную силу какого либо постояннаго гальваническаго элемента, наприм. Даніеля, а за единицу сопротивленій—сопротивленіе мѣдной проволоки, длиною въ футъ и толщиною въ линію. Если K равно 3, $R=10$, то сила тока равняется $\frac{3}{10}$ единицы токовъ, то есть $\frac{3}{10}$ того тока, который произойдетъ, если сопротивленіе всей цѣпи есть 1, и электровозбудительная сила также 1.

284. Сравненіе электровозбудительныхъ силъ. Руководствуясь формулой Ома, можно сравнить между собою электровозбудительныя силы гальваническихъ элементовъ, т. е. можно опредѣлить, во сколько разъ электровозбудительная сила одного элемента болѣе электровозбудительной силы дру-

гого. Пусть K и A электровозбудительныя силы двухъ элементовъ. Составляютъ гальваническую цѣпь изъ элемента K, мультипликатора и агометра. Назвавъ силу тока чрезъ f, а сопротивленіе всей цѣпи чрезъ R, будемъ имѣть по формулѣ (1):

$$f=\frac{K}{R}.$$

Введемъ въ цѣпь нѣсколько оборотовъ проволоки агометра; отъ этого, сопротивленіе цѣпи увеличится, и сила тока уменьшится до f_1. Соотвѣтственно тому, уменьшится отклоненіе магнитной стрѣлки мультипликатора отъ магнитнаго меридіана; пусть при токѣ f уголъ отклоненія былъ n°, а при f_1—$n_1{}^\circ$. Пусть теперь сопротивленіе цѣпи равно R_1; тогда $f_1=\frac{K}{R_1}$. Составляемъ новую цѣпь изъ элемента A, мультипликатора, агометра и вводимъ такое количество оборотовъ проволоки агометра, чтобы магнитная стрѣлка отклонилась опять на n°; тогда сила тока снова будетъ равна f. Назвавъ сопротивленіе цѣпи чрезъ H, получимъ:

$$f=\frac{A}{H}.$$

Затѣмъ, вводимъ еще столько оборотовъ проволоки агометра, чтобы отклоненіе стрѣлки равнялось $n_1{}^\circ$, и чтобы сила тока была f_1. Тогда

$$f_1=\frac{A}{H_1},$$

гдѣ H_1—сопротивленіе цѣпи.

Изъ сравненія предыдущихъ равенствъ находимъ:

$$\frac{K}{R}=\frac{A}{H} \text{ и } \frac{K}{R_1}=\frac{A}{H_1}.$$

откуда

$$AR=KH \text{ и } AR_1=KH_1$$

Вычтя одно равенство изъ другого, получимъ:

$$A(R_1-R)=K(H_1-H);$$

отсюда искомая величина, т. е. отношеніе электровозбудительныхъ силъ

$$\frac{A}{K}=\frac{H_1-H}{R_1-R}.$$

Разности H_1-H и R_1-R означаютъ увеличенія сопротивленій и измѣряются при помощи агометра.

Изъ подобныхъ изслѣдованій оказалось:

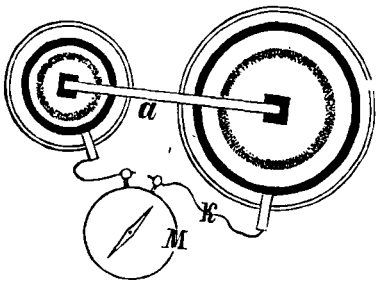
1) Если принять электровозбудительную силу элемента Даніеля за единицу, то электровозбудительныя силы прочихъ элементовъ выразятся слѣдующими числами:

Элементы.	Даніеля.	Вульстена.	Маріе-Деви.	Бунзена.	Грове.
Электровозбуд. сила.	1	0,53	1,43	1,71	1,75

2) Электровозбудительная сила, дѣйствующая на границѣ соприкосновенія металловъ съ жидкостями, измѣняется вмѣстѣ съ веществами, составляющими гальваническій элементъ, и не зависитъ отъ его устрой-

ства, то есть величины, вида, взаимнаго разстоянія металлическихъ поверхностей и густоты растворовъ.

Вообразимъ 2 элемента (фиг. 379). изъ однихъ и тѣхъ же веществъ, напр. 2 элемента Бунзена, но различающіеся другъ отъ друга во всѣхъ возможныхъ отношеніяхъ: величиною поверхности угля и цинка, по ихъ взаимному разстоянію, виду и проч. Электровозбудительныя силы этихъ элементовъ будутъ равны. Если соединить проволокой a ихъ аноды, а проволокой k — катоды, то электровозбудительныя силы будутъ гнать одноименныя электричества навстрѣчу другъ другу, и въ проволокахъ a и k не будетъ токовъ,—только проволока a зарядится положительнымъ электричествомъ, а проволока k — отрицательнымъ.



Фиг. 379.

Законъ этотъ объясняется слѣдующимъ образомъ:

Въ каждой точкѣ соприкосновенія какихъ либо двухъ разнородныхъ частицъ, напр. цинка и сѣрной кислоты, электровозбудительная сила разлагаетъ электричества, пока они не достигнутъ нѣкотораго напряженія, и удерживаетъ ихъ отъ взаимнаго соединенія; если увеличимъ число точекъ соприкосновенія цинка съ кислотой, взявъ большую поверхность металла, то напряженіе электричества отъ этого не измѣнится, потому что, хотя, по причинѣ большей поверхности электродовъ, электричества на нихъ будетъ больше, но количество электричества на единицѣ поверхности или, что все равно, напряженіе электричества, останется то же самое.

Подобнымъ образомъ не трудно понять, что форма электродовъ не должна имѣть вліяніе на напряженіе электричества.

Всѣ эти обстоятельства, отъ которыхъ не зависитъ электровозбудительная сила, оказываютъ однакожъ вліяніе на силу гальваническаго тока. Такъ, при увеличеніи поверхности металловъ, входящихъ въ составъ гальваническаго элемента, или при сближеніи ихъ, а также при сгущеніи растворовъ, уменьшается сопротивленіе элемента; отъ этого, электричества, уничтожающіяся на электродахъ, быстрѣе возобновляются электровозбудительной силой, и по проводнику, соединяющему анодъ съ катодомъ, будетъ пробѣгать въ каждую единицу времени электричества больше.

То же видно изъ формулы Ома, знаменатель которой зависитъ отъ сопротивленія элемента.

3) Тотъ же законъ примѣняется въ элементахъ съ двумя жидкостями, но только къ тѣмъ электровозбудительнымъ силамъ, которыя

дѣйствуютъ въ соприкосновеніи металловъ и жидкостей. Отъ дѣйствія жидкостей другъ на друга, также является токъ, котораго направленіе бываетъ иногда въ сторону главнаго тока, иногда въ противную. Такъ, въ элементѣ Грове $\frac{1}{5}$ часть всей электровозбудительной силы производится взаимнымъ дѣйствіемъ азотной и сѣрной кислотъ; въ элементѣ Даніеля электровозбудительная сила жидкостей уменьшаетъ на $\frac{1}{10}$ силу элемента. Электровозбудительная сила, происходящая отъ дѣйствія другъ на друга растворовъ, зависитъ отъ ихъ сгущенія; она составляетъ перемѣнную часть всей электровозбудительной силы элемента.

285. Гальваническія батареи. Для увеличенія силы гальваническаго тока соединяютъ вмѣстѣ многіе гальваническіе элементы. Эти соединенія можно производить разными способами.

1) Вводятъ въ цѣпь элементы *послѣдовательно* или *одинъ за другимъ* (фиг. 380), такъ чтобы анодъ одного элемента касался като-

Фиг. 380.

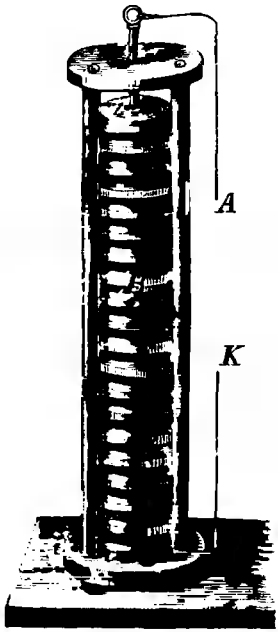
да второго, анодъ второго—катода третьяго, и такъ далѣе.

Тогда напряженіе электричества на крайнихъ электродахъ бываетъ пропорціонально числу элементовъ, то есть, при увеличеніи числа элементовъ, во столько же разъ увеличивается напряженіе электричества. Гассіотъ, употребивъ 3520 элементовъ изъ мѣди и цинка и замѣнивъ окисленную воду дождевою, получилъ столь сильное напряженіе на электродахъ, что извлекалъ искры, какъ изъ кондуктора электрической машины.

Батарея въ 11000 элементовъ, построенная Варренъ-де-ля-Рю, производитъ еще болѣе сильныя дѣйствія; элементы состоятъ изъ цинка и серебра; цинкъ погруженъ въ растворъ нашатыря въ водѣ, серебро — въ хлористое серебро.

Вольта, исходя изъ своей гипотезы соприкосновенія, приготовилъ множество кружковъ изъ мѣди, цинка и фланели, смоченной въ слабой сѣрной ки-

слотѣ и составилъ изъ нихъ столбъ, такимъ образомъ: на мѣдный кружокъ c (фиг. 381), уединенный отъ земли стеклянной подставкой, клалъ цинковый, потомъ фланелевый, далѣе опять мѣдный, на него цинковый, фланелевый и т. д., наконецъ, на самомъ верху—цинковый z. Приближая электроскопъ къ разнымъ точкамъ столба, онъ нашелъ повсюду электричество, кромѣ середины B столба, гдѣ напряженіе было 0. Верхняя половина столба была заряжена положительно, нижняя — отрицательно. Напряженіе электричества возрастало къ краямъ, гдѣ оно было пропорціонально числу мѣдно-цинковыхъ паръ.



Фиг. 381.

Опытъ показываетъ, что сопротивленіе совокупности элементовъ, введенныхъ послѣдовательно, пропорціонально числу элементовъ. Поэтому, послѣдовательное сочетаніе n элементовъ даетъ гальваническій токъ такой же силы, какой далъ бы одинъ гальваническій элементъ, у котораго напряженіе электричества на электродахъ и сопротивленіе въ n разъ болѣе, чѣмъ у каждаго изъ составляющихъ элементовъ.

Чтобы убѣдиться въ справедливости этого, надо опредѣлить, по указаннымъ выше пріемамъ, величину электровозбудительной силы всей батареи и ея сопротивленіе.

Называя электровозбудительную силу каждаго элемента чрезъ k, сопротивленіе—чрезъ r, а сопротивленіе всѣхъ тѣлъ, введенныхъ въ цѣпь, за исключеніемъ батареи,—чрезъ h, получимъ по формулѣ Ома для силы тока f

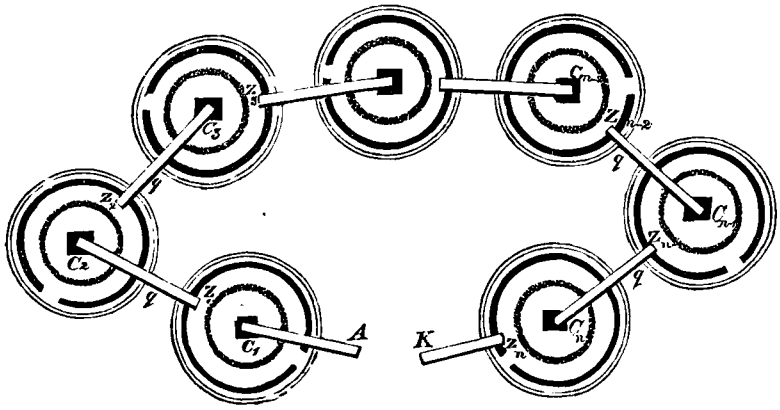
$$f=\frac{nk}{nr+h}$$

Если нѣкоторые элементы введены по противоположному направленію съ другими, то числитель формулы будетъ разность между суммами силъ, дѣйствующихъ въ разныя стороны.

Изложенныя здѣсь явленія объясняются слѣдующимъ образомъ. Пусть электровозбудительная сила гальваническаго элемента можетъ на одномъ изъ электродовъ довести напряженіе электричества до $+e$, а на другомъ—до $-e$. Разность напряженій будетъ $+e-(-e)$ или $2e$. Предположимъ, что этому элементу сообщили положительное электричество, котораго напряженіе есть E. Тогда окончательное напряженіе на электродахъ будетъ на одномъ $E+e$, на другомъ $E-e$; разность между ними также равна $2e$. Значитъ, разность электрическихъ напряженій на электродахъ не измѣняется, если сообщить гальваническій элементъ съ источникомъ электричества.

Руководясь этимъ положеніемъ, разсмотримъ элементы Бунзена, введен-

ные послѣдовательно (фиг. 382); пусть цинкъ Z_n крайняго элемента Z_n C_n соединенъ съ землею, уголь C_n того же элемента, пластинкой q,—съ цинкомъ Z_{n-1} слѣдующаго элемента Z_{n-1} C_{n-1}, уголь C_{n-1} этого элемента съ цинкомъ Z_{n-2} элемента Z_{n-2} C_{n-2} и такъ далѣе до послѣдняго C_1, уединеннаго отъ земли. Назовемъ чрезъ e напряженіе электричества на каждомъ электродѣ незамкнутаго элемента; слѣдовательно, разность напряженій будетъ $2e$. Такъ какъ цинкъ Z_n соединенъ съ землею, то электрическое его напряженіе равно нулю. Разность между напряженіями Z_n и C_n должна быть $2e$; поэтому, напряженіе электричества на C_n равно $+2e$. Между C_n и Z_{n-1} нѣтъ электровозбудительной силы; слѣдовательно, на Z_{n-1} напряженіе электричества есть также $+2e$. Разность напряженій электричества на Z_{n-1} и C_{n-1} равна $2e$, а потому напряженіе на C_{n-1} равно $+4e$. На Z_{n-2} напряженіе также равно $+4e$; на C_{n-2} оно увеличится еще на $+2e$ и будетъ $+6e$. Продолжая разсуждать подобнымъ образомъ далѣе, найдемъ, что на крайнемъ углѣ C_1 на-



Фиг. 382.

пряженіе будетъ $+n.2e$, то есть пропорціонально числу гальваническихъ элементовъ.—Если бы крайній уголъ C_1 былъ соединенъ съ землею, а крайній цинкъ Z_n уединенъ, то на первомъ было бы 0 электричества, а на цинкѣ—$n.2e$. Опытъ вполнѣ подтверждаетъ эти заключенія.

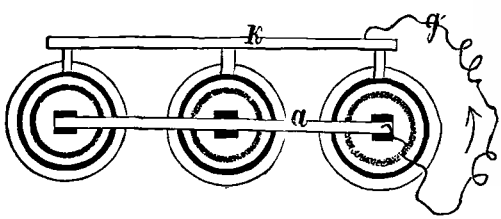
Вообразимъ теперь n элементовъ, введенныхъ послѣдовательно, но уединенныхъ отъ земли. Тогда на крайнихъ электродахъ будутъ накопляться электричества: на одномъ положительное, на другомъ отрицательное. Чтобы опредѣлить напряженіе того или другого, представимъ себѣ весь рядъ элементовъ раздѣленнымъ пополамъ. Съ той половины, гдѣ находится крайній цинковый полюсъ Z_n, притекаетъ къ срединѣ положительное электричество, а съ той части, гдѣ находится крайній уголъ C_1, приходитъ такое же количество отрицательнаго; поэтому, на среднемъ элементѣ не будетъ никакого электричества.

Разсуждая подобно предыдущему, найдемъ, что напряженіе положительнаго электричества на углѣ C_1 будетъ $+\frac{n}{2}2e$ или $+ne$, а на цинкѣ Z_n будетъ $-ne$. Такимъ образомъ видимъ, что напряженіе электричества, при одномъ и томъ же числѣ элементовъ, вдвое менѣе, когда они уединены, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда одинъ электродъ соединенъ съ землею. Разность напряже-

ній остается та же самая, потому что $+ne-(-ne)=2ne$. Если извлечемъ электричество съ электродовъ, то электровозбудительныя силы снова разложатъ электричество, и на электродахъ, спустя болѣе или менѣе короткій промежутокъ времени, опять получится прежнее напряженіе. Этотъ промежутокъ, при большомъ числѣ элементовъ и при большомъ сопротивленіи веществъ элементовъ, можетъ быть довольно значителенъ.

Сужденія, приложенныя къ батареѣ Бунзена, могутъ быть почти безъ измѣненія отнесены ко всякой другой, не исключая Вольтова столба. Въ послѣднемъ случаѣ, электровозбудительныя силы, по гипотезѣ Вольта, дѣйствуютъ въ точкахъ соприкосновенія мѣди и цинка; фланель имѣетъ значеніе неметаллическаго проводника, т. е. тѣла, которое, будучи способно проводить электричество, не можетъ, однакожъ, при соприкосновеніи съ металлами, дать начало электровозбудительной силѣ.

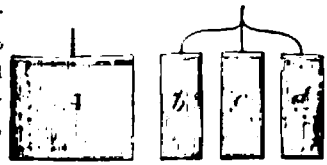
2) Иногда соединяютъ однородные полюсы элементовъ въ одинъ, т. е. между собою всѣ аноды и между собою всѣ катоды; фиг. 383 изображаетъ три гальваническіе элемента, расположенные подобнымъ образомъ. Тока въ этомъ случаѣ не будетъ, только пластинка a, соединяющая аноды, будетъ заряжена положительнымъ электричествомъ, а пластинка k, соединяющая катоды, — отрицательнымъ. Если соединить проводникомъ g общій анодъ a съ общимъ катодомъ k, то въ проводникѣ g получится токъ. Такія соединенія элементовъ называются *параллельными*. Опытъ показываетъ, что n элементовъ, соединенныхъ параллельно, дѣйствуютъ такъ, какъ дѣйствовалъ бы одинъ элементъ, который отличается отъ каждаго изъ данныхъ только тѣмъ, что поверхность твердыхъ тѣлъ, въ него входящихъ, въ n разъ болѣе. Такъ какъ напряженіе электричества не зависитъ отъ величины и устройства элемента, то параллельными соединеніями нельзя увеличить напряженіе, но количество электричества на электродахъ будетъ больше, а сопротивленіе всей совокупности элементовъ меньше, нежели въ каждомъ изъ данныхъ элементовъ.



Фиг. 383.

Что при параллельномъ сочетаніи гальваническихъ элементовъ напряженіе электричества не измѣняется, можно убѣдиться слѣдующимъ образомъ. Соединимъ параллельно n элементовъ въ одну батарею. Введемъ въ одну и ту же цѣпь эту батарею и противоположно ей одинъ гальваническій элементъ того же рода. Стрѣлка мультипликатора, введеннаго въ такую гальваническую цѣпь, останется въ покоѣ, а это служитъ доказательствомъ, что электровозбудительная сила батареи равна электровозбудительной силѣ одного элемента.

Чтобы объяснить эти явленія, представимъ себѣ простѣйшій гальваническій элементъ изъ мѣди и цинка, погруженныхъ въ слабую сѣрную кислоту. Если цинковую пластинку A (фиг. 384) замѣнить другою, развѣтвленною на три: b, c, d, которыхъ общая поверхность равнялась бы первой, и то же самое сдѣлаемъ съ мѣдною пластинкою, то электровозбудительная сила не перемѣнится, потому что она не зависитъ отъ вида металлическихъ пластинокъ [284]. Эта сила равнымъ образомъ не измѣнится, если мы помѣстимъ каждое изъ развѣтвленій b, c, d цинка съ однимъ изъ подобныхъ развѣтвленій мѣди въ особенный сосудъ съ кислотой,—а тогда, именно и получится гальваническая батарея изъ трехъ элементовъ, соединенныхъ параллельно. То же самое можно сказать о всякомъ гальваническомъ элементѣ.



Фиг. 384.

Называя чрезъ k электровозбудительную силу каждаго элемента, чрезъ r—сопротивленіе, а чрезъ h—внѣшнее сопротивленіе, найдемъ

$$f=\frac{k}{\frac{r}{n}+h}$$

3) Гальваническія пары распредѣляютъ еще въ нѣсколько группъ изъ равнаго числа элементовъ, производятъ въ каждой группѣ параллельныя соединенія и потомъ вводятъ ихъ одну за другою, какъ отдѣльные элементы. Такъ, въ случаѣ 12 элементовъ, можно составить 6 элементовъ, каждый съ двойною поверхностью, или 4 элемента съ тройною и т. д. Пусть батарея изъ n элементовъ раздѣлена на двѣ группы; въ каждой группѣ сдѣланы параллельныя соединенія; затѣмъ, обѣ группы введены одна за другой. Тогда

$$f=\frac{2k}{\frac{4r}{n}+h}$$

Совокупность паръ, соединенныхъ какимъ бы то ни было образомъ называется *гальваническою батареею.*

286. Наивыгоднѣйшее дѣйствіе тока. Возьмемъ гальваническую батарею изъ n элементовъ, введенныхъ послѣдовательно; пусть электровозбудительная сила одного элемента равна k, сопротивленіе его r, внѣшнее сопротивленіе h. Получимъ

$$f=\frac{nk}{nr+h}.$$

Если h сопротивленіе тѣла, введеннаго въ цѣпь, чрезвычайно велико сравнительно съ nr, сопротивленіемъ батареи, то можно пренебречь въ знаменателѣ послѣдней формулы числомъ nr, и мы будемъ имѣть:

$$f=\frac{nk.}{h}$$

Отсюда видимъ, что сила тока возрастаетъ пропорціонально числу элементовъ; но она не зависитъ отъ величины ихъ, потому что, съ увеличиваніемъ поверхности металловъ, возбудительная сила элемента не измѣняется, а уменьшается только сопротивленіе его r, которое въ формулу не входитъ.

Пусть теперь сопротивленіе введеннаго въ цѣпь тѣла ничтожно сравнительно съ сопротивленіемъ батареи; тогда, пренебрегая h предъ nr, найдемъ формулу

$$f=\frac{nk}{nr} \text{ или } f=\frac{k}{r},$$

тоторая показываетъ, что сила тока при увеличиваніи числа элеменковъ не измѣняется, но зато возрастаетъ съ поверхностью металлическихъ пластинокъ, отъ которыхъ зависитъ сопротивленіе r пары.

Итакъ, если проводникъ имѣетъ весьма большое сопротивленіе, то элементы должно сочетать послѣдовательно; если же сопротивленіе весьма мало, то нужно брать параллельныя соединенія.

Если сопротивленія тѣла, введеннаго въ цѣпь, и батареи сравнимы между собою по величинѣ, то полезно увеличивать поверхность элементовъ и число ихъ.

До того же заключенія можно дойти съ помощію иныхъ соображеній. Представимъ себѣ многопарную батарею изъ элементовъ, введенныхъ послѣдовательно, и пусть она замкнута проводникомъ, не представляющимъ почти никакого сопротивленія, напримѣръ короткимъ и толстымъ мѣднымъ стержнемъ. Разнородныя электричества электродовъ, по мѣрѣ уничтоженія ихъ въ проводникѣ, снова будутъ возобновляться дѣйствіемъ электровозбудительныхъ силъ, но весьма медленно, по причинѣ большого сопротивленія батареи, такъ что напряженіе электричества на электродахъ будетъ почти равно нулю. Поэтому, сила тока будетъ гораздо менѣе, чѣмъ слѣдовало бы, повидимому, ожидать отъ большого числа гальваническихъ элементовъ; можетъ даже случиться, когда сопротивленіе проводника почти нуль, а сопротивленіе веществъ, составляющихъ батарею, велико, что сила тока вовсе не измѣнится при замѣненіи всей батареи однимъ элементомъ. Если проводникъ представляетъ теченію электричества болѣе или менѣе значительное сопротивленіе, то разложенныя въ батареи электричества уничтожаются не столь быстро, и поэтому, прежде вступленія ихъ въ соединительный проводникъ, пріобрѣтаютъ на электродахъ большую напряженность. Чѣмъ болѣе напряженіе электричества на электродахъ и чѣмъ, слѣдовательно, болѣе элементовъ введено въ цѣпь, тѣмъ болѣе электричества будетъ пробѣгать по проводнику, и тѣмъ токъ будетъ сильнѣе.

Вообразимъ теперь гальваническій элементъ съ большою поверхностью, или, что все равно, многіе гальваническіе элементы, введенные параллельно, и замкнемъ цѣпь проводникомъ съ весьма большимъ сопротивленіемъ. Тогда электричество электродовъ, обладая слабымъ напряженіемъ, не въ состояніи будетъ преодолѣвать сопротивленіе проводника, и токъ будетъ слабый, не сильнѣе тока, какой можетъ дать элементъ съ малою поверхностью. Если сопро-

тивленіе внѣшняго проводника ничтожно, то электричества, возбужденныя на электродахъ, немедленно уничтожаются въ соединительномъ проводникѣ. Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ токъ тѣмъ сильнѣе, чѣмъ скорѣе электричества, уничтоженныя на электродахъ, возобновляются гальваническимъ элементомъ, другими словами, чѣмъ болѣе поверхность элемента, и чѣмъ меньше его сопротивленіе, иначе сказать: чѣмъ больше элементовъ введено параллельно.

Изъ сказаннаго выходитъ:

Если сопротивленіе проводника весьма мало, то, для полученія наисильнѣйшаго тока посредствомъ даннаго числа элементовъ, должно сдѣлать параллельныя соединенія; если сопротивленіе чрезвычайно велико, то надо соединить элементы послѣдовательно. Когда проводникъ имѣетъ среднее сопротивленіе—не очень большое и не очень малое,—надо элементы распредѣлить въ параллельныя группы, которыхъ число должно быть тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе сопротивленіе вводимаго въ цѣпь тѣла.

287. Пользуясь формулой Ома, всегда можно для данной батареи найти наивыгоднѣйшее соединеніе. Пусть для примѣра имѣется 24 гальваническіе элемента; сопротивленіе каждаго равно 15, а электровозбудительная сила 1; сопротивленіе тѣла, введеннаго въ цѣпь, 20. Въ 24-хъпарной батареѣ можно сдѣлать 8 соединеній: ввести всѣ элементы одинъ за другимъ; составить 12 группъ по два элемента, дѣлая въ каждой группѣ параллельныя соединенія; раздѣлить батарею на 8 группъ по 3 пары; на 6 по 4 и т. д.; наконецъ, всѣ 24 элемента соединить параллельно. Назовемъ токи, соотвѣтственные каждому соединенію, чрезъ F_{24}, F_{12}, F_8 . . . . , то есть чрезъ F съ нумеромъ, означающимъ число группъ. Тогда получимъ

$$F_{24}=\frac{24}{24.15+20}.$$

Въ случаѣ 12 группъ, будетъ 12 элементовъ и 12 электровозбудительныхъ силъ; сопротивленіе каждаго элемента будетъ $\frac{15}{2}$; слѣдовательно,

$$F_{12}=\frac{12}{12.\frac{15}{2}+20}$$

Точно такъ же найдемъ:

$$F_8=\frac{8}{8.\frac{15}{8}+20}$$

и т. д. Наконецъ,

$$F_1=\frac{1}{1.\frac{15}{24}+20}$$

Выражая эти величины въ десятичныхъ дробяхъ, чтобы легче ихъ было между собою сравнить, найдемъ, ограничиваясь тысячными долями:

$$F_{24}=0{,}063;\ F_{12}=0{,}109;\ F_8=0{,}133;$$

$$F_6 = 0{,}141;\ F_4 = 0{,}133;\ F_3 = 0{,}117;$$
$$F_2 = 0{,}089;\ F_1 = 0{,}048.$$

Отсюда видимъ, что выгоднѣе всего въ разсматриваемомъ случаѣ раздробить батарею на 6 группъ, сдѣлавъ въ каждой параллельныя соединенія.

Можно доказать съ помощію формулы Ома, что для наивыгоднѣйшаго дѣйствія тока надо, чтобы сопротивленіе батареи было равно сопротивленію введеннаго въ цѣпь тѣла.

Для ясности возьмемъ простѣйшій элементъ, состоящій изъ двухъ металлическихъ, равной величины, пластинокъ, опущенныхъ въ окисленную воду, и разрѣшимъ слѣдующую задачу. Даны нѣкоторой величины мѣдный и равный ему цинковый листы; требуется опредѣлить, на сколько равныхъ частей надо разрѣзать каждый для составленія гальваническихъ элементовъ, чтобы получить наисильнѣйшій токъ. Для рѣшенія вопроса, назовемъ чрезъ r сопротивленіе одного элемента, котораго металлическія поверхности будутъ равны даннымъ, а чрезъ x—искомое число элементовъ; сопротивленіе каждаго изъ x элементовъ будетъ xr, а сопротивленіе батареи, когда всѣ пары введены одна за другой, x^2r. Назвавъ еще чрезъ k возбудительную силу каждой гальванической пары и чрезъ h сопротивленіе всѣхъ тѣлъ, введенныхъ въ цѣпь, получимъ для силы тока f выраженіе:

$$f = \frac{kx}{x^2r + h}.$$

Здѣсь f измѣняется только съ измѣненіемъ x; посмотримъ, при какомъ значеніи x, токъ f получитъ наибольшую величину.

Изъ послѣдняго равенства будемъ имѣть:

$$frx^2 - kx + fh = 0,$$

откуда

$$x = \frac{k \pm \sqrt{k^2 - 4f^2rh}}{2fr};$$

это равенство показываетъ, что какова бы ни была величина f, она необходимо должна удовлетворить условію:

$$k^2 - 4f^2rh > 0, \text{ или } k^2 - 4f^2rh = 0,$$

ибо, въ противномъ случаѣ, x получило бы мнимое значеніе. Слѣдовательно, f можетъ возрастать съ измѣненіемъ x только до тѣхъ поръ, пока $k^2 - 4f^2rh$ не сдѣлается равнымъ нулю. Тогда

$$f = \frac{k}{2\sqrt{hr}}, \text{ а } x = \frac{k}{2fr} = \sqrt{\frac{h}{r}};$$

подставивъ на мѣсто x его величину въ количествѣ x^2r, найдемъ равенство $x^2r = h$, которое показываетъ, что для наивыгоднѣйшаго дѣйствія тока сопротивленіе батареи должно быть равно сопротивленію всѣхъ тѣлъ, введенныхъ въ цѣпь.

Приложимъ эти результаты къ разсмотрѣнному выше численному примѣру. Такъ какъ r есть сопротивленіе всѣхъ элементовъ, соединенныхъ параллельно, то

$$r = \frac{15}{24};$$

поэтому, x—число элементовъ при наивыгоднѣйшемъ дѣйствіи тока—найдется изъ уравненія

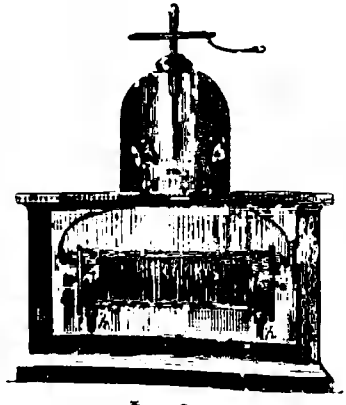
$$x=\sqrt{\frac{h}{r}}=\sqrt{32}=5,65.$$

Число 5,65 ближе всего подходитъ къ 6; и въ самомъ дѣлѣ 6-ти-парная батарея производитъ наибольшее дѣйствіе.

288. Столбъ Замбони. Къ гальваническимъ батареямъ принадлежатъ такъ называемые *сухіе столбы*; употребительнѣйшій изъ нихъ—столбъ Замбони. Чтобы приготовить такой столбъ, наклеиваютъ тонкій оловянный листъ на бумагу, немного влажную, а другую ея сторону натираютъ перекисью марганца. Нарѣзавъ изъ такой бумаги нѣсколько тысячъ кружковъ, складываютъ вмѣстѣ въ видѣ столба, обращая олово всѣхъ кружковъ въ одну сторону, чтобы этотъ металлъ касался съ перекисью марганца. Потомъ, связавъ столбъ шелковыми снурками и приложивъ къ концамъ его мѣдныя пластинки, сдавливаютъ винтами по направленію длины и заключаютъ въ стеклянную трубку, или обливаютъ смолою, чтобы уединить отъ соприкосновенія съ наружнымъ воздухомъ. Жидкость влажной бумаги дѣйствуетъ химически на олово; самое вещество бумаги участвуетъ въ этомъ дѣйствіи, потому что въ столбахъ, не дающихъ болѣе электричества, бумага представляетъ ясные слѣды разложенія; наконецъ, кислородъ перекиси марганца, вѣроятно, окисляетъ олово. Отъ этихъ химическихъ реакцій, на одномъ концѣ столба Замбони обнаруживается положительное электричество, на другомъ—отрицательное. Такой приборъ дѣйствуетъ впродолженіе весьма долгаго времени, хотя весьма слабо. Извлеченное электричество возобновляется довольно медленно, по причинѣ худой проводимости бумаги.

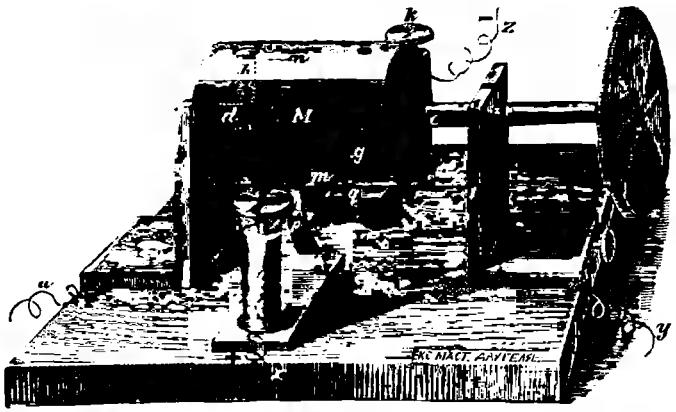
Изобрѣтеніемъ сухихъ столбовъ наука обязана послѣдователямъ Вольта. Отвергая въ этихъ снарядахъ химическое дѣйствіе, они видѣли здѣсь новое подтвержденіе гипотезы соприкосновенія.

289. Электроскопъ Фехнера. Столбъ Замбони имѣетъ приложеніе въ электроскопѣ Фехнера. Этотъ приборъ состоитъ изъ горизонтальнаго замбоніева столба AK (фиг. 385), утвержденнаго на стеклянныхъ ножкахъ h; полюсы столба оканчиваются металлическими пластинками a и k, на которыхъ скопляются электричества: на первой положительное, на второй отрицательное. Между ними привѣшена золотая пластинка m. Если послѣдней сообщить электричество, то она отклоняется въ ту или другую сторону, смотря по роду электричества: въ случаѣ положительнаго — къ k, а отрицательнаго —къ a. Такимъ образомъ, электроскопъ Фехнера можетъ показать родъ электричества; кромѣ того, онъ несравненно чувствительнѣе обыкновеннаго электроскопа [252], потому что золотая пластинка испытываетъ дѣйствіе съ двухъ сторонъ: съ одной —притяженіе, съ другой — отталкиваніе. Для увеличенія чувствительности, къ электроскопу присоединяютъ конденсаторъ.



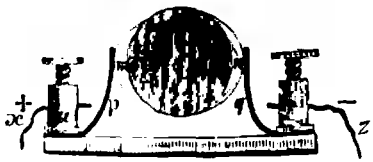
Фиг. 385.

290. Коммутаторъ. При изслѣдованіи явленій гальванизма полезно имѣть приборы, посредствомъ которыхъ можно было бы быстро перемѣнять направленіе тока. Такіе приборы называются *коммутаторами*. Мы разсмотримъ только коммутаторъ Румкорфа. Цилиндръ *M* (фиг. 386) изъ слоновой кости, вращающійся на металлической оси *dc*, покрытъ двумя выпуклыми металлическими пластинками *m* и *n* (фиг. 386 и 387), не касающимися другъ друга. Ось *dc* (фиг. 386) состоитъ изъ двухъ не соприкасающихся между собою частей *d* и *c*; онѣ соединены винтами *g* и *h* съ пластинками *m* и *n*. Проволоки *x* и *z*, идущія отъ полюсовъ батареи, привинчены винтами *a* и *k* къ стойкамъ, къ которымъ прикрѣплены двѣ пружины *p* и *q*. Наконецъ, двѣ другія стойки, поддерживающія ось *dc*, соединены проволоками *y* и *u* съ проводникомъ, чрезъ который желаютъ пропустить токъ. Пусть винтъ *a* соединенъ съ анодомъ батареи, а *k* — съ катодомъ. При положеніи прибора, показанномъ на фигурѣ 386, цѣпь не замкнута. Если повернемъ ось *dc* такимъ образомъ, чтобы пластинка *m* коснулась



Фиг. 386.

пружины *p*, а *n*—пружины *q*, какъ это изображено на фигурѣ 387, то цѣпь замкнется; гальваническій токъ изъ *a* пойдетъ въ *p*, потомъ въ *m*, далѣе, чрезъ винтъ *g*, въ часть *c* оси, проволоку *y* и испытуемое тѣло; оттуда возвратится по проволокѣ *u* въ другую часть *d* оси, затѣмъ пойдетъ по винту *h*, пластинкѣ *n*, пружинѣ *q*, винту *k* и проволокѣ *z* въ батарею. Если повернемъ цилиндръ *M* такъ, чтобы *n* коснулась пружины *p*, а *m* — *q*, то токъ выйдетъ изъ коммутатора по проволокѣ *u* и



Фиг. 387.

вернется чрезъ y, и, слѣдовательно, направленіе его въ тѣлѣ будетъ противоположно предыдущему.

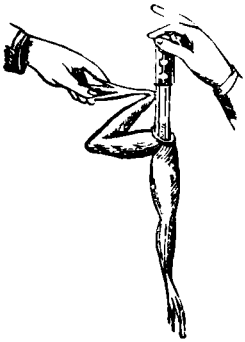
Дѣйствія гальваническаго тока.

291. Дѣйствіе тока на организмъ. Дѣйствіе гальваническаго тока на животныхъ было открыто ранѣе прочихъ дѣйствій. Гальвани замѣтилъ его на мертвой лягушкѣ; потомъ, съ усовершенствованіемъ батарей, оно было также доказано въ отношеніи всѣхъ другихъ животныхъ, какъ живыхъ, такъ и недавно умершихъ. При пропусканіи тока чрезъ нашъ организмъ, мы ощущаемъ сначала сотрясеніе, какъ при разряженіи лейденской банки, потомъ относительно меньшее дѣйствіе, состоящее въ постоянномъ щемленіи мускуловъ (frémissement), и, наконецъ, новое сотрясеніе въ моментъ размыканія цѣпи. Видимое дѣйствіе заключается въ укорачиваніи мускуловъ.—Верхняя кожица человѣческаго тѣла представляетъ чрезвычайно большое сопротивленіе; для уменьшенія его, берутъ въ руки не самыя проволоки, но придѣланные къ нимъ мѣдные цилиндры, чтобы было больше точекъ соприкосновенія, и притомъ смачиваютъ руки слабою сѣрною кислотою. При такихъ условіяхъ можно замѣтить дѣйствіе 12-ти-парной батареи Бунзена; 100 элементовъ даютъ ощущенія весьма сильныя, могущія имѣть дурныя послѣдствія; 2000 паръ могутъ убить быка. По причинѣ большого сопротивленія человѣческаго тѣла, токи бываютъ весьма слабы, откуда видимъ, что наши нервы весьма чувствительны къ электричеству; отсюда же ясно, что для наисильнѣйшаго дѣйствія должно элементы батареи вводить одинъ за другимъ.

Чувствительность животныхъ къ гальваническому току сохраняется нѣкоторое время послѣ смерти. Замѣчательнѣйшіе опыты были произведены по этому поводу въ Гласговѣ надъ трупомъ повѣшеннаго преступника, спустя часъ послѣ казни. Гальваническая батарея состояла изъ 270 элементовъ; электроды, уединенные стеклянными ручками, чтобы предохранить наблюдателя отъ дѣйствія гальваническаго тока, оканчивались остріями, которыя погружались въ тѣло. При пропусканіи тока чрезъ части трупа, руки и ноги сгибались, грудь подымалась и опускалась, какъ при дыханіи. Когда одинъ полюсъ батареи касался одного нерва въ брови (nervus supraorbitalis), а другой былъ погруженъ въ надрѣзъ, сдѣланный въ пяткѣ, то мускулы лица сократились и дали лицу столь страшное и непріятное выраженіе, что многіе изъ присутствующихъ на опытахъ не были въ состояніи вынести этого ужаснаго явленія и поспѣшно удалились.

Животныя имѣютъ собственное свое электричество, что было доказано еще Гальвани; чтобы убѣдиться въ этомъ, быстро препарируютъ лягушку; потомъ, вырѣзываютъ среднюю часть станового хребта, такъ чтобы верхняя часть

была соединена съ задними ногами только посредствомъ нервовъ (lumbales) (фиг. 388). Если тогда привести въ соприкосновеніе ногу съ нервомъ, то въ мускулахъ замѣчаются содроганія.

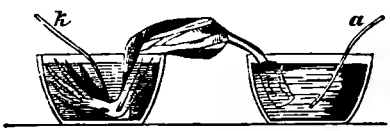


Фиг. 388.

Этотъ опытъ можно произвести еще иначе. Берутъ два стеклянные сосуда съ ртутью, сообщенные помощію проволокъ *a* и *k* (фиг. 389) съ гальваноскопомъ; приготовленную лягушку кладутъ такъ, чтобы ноги ея были погружены въ одинъ сосудъ, а нервы въ другой; тотчасъ замѣчается отклоненіе магнитной стрѣлки. Такихъ сосудовъ можно соединить нѣсколько, отъ чего отклоненіе, какъ и слѣдуетъ ожидать, будетъ больше.

Опыты надъ теплокровными животными привели къ тѣмъ же результатамъ.

Эти явленія должны убѣдить всякаго въ существованіи животнаго электричества, тѣмъ болѣе, что есть электрическія рыбы, которыя выпускаемымъ ими электричествомъ убиваютъ большихъ животныхъ, и въ которыхъ даже найденъ особый органъ, производящій электричество. Наконецъ, то же слѣдуетъ изъ опыта Буффа. Онъ составилъ цѣпь изъ 16 человѣкъ, которые держали другъ друга за руки: крайніе касались концовъ проволоки гальванометра. Когда они сокращали мускулы правыхъ рукъ, то стрѣлка гальванометра отклонялась отъ магнитнаго меридіана; при сокращеніи мускуловъ лѣвыхъ рукъ, стрѣлка также отклонялась, но въ противоположную сторону.



Фиг. 389.

292. Нагрѣваніе. Гальваническій токъ, проходя чрезъ тѣла, возбуждаетъ въ нихъ теплоту; при соблюденія нѣкоторыхъ условій проводникъ можетъ накалиться, расплавиться и даже обратиться въ пары. Если вещество, изъ котораго проводникъ сдѣланъ, способно при высокой температурѣ соединяться съ кислородомъ воздуха, то оно горитъ, химически соединяясь съ этимъ газомъ и окрашивая пламя особеннымъ характернымъ цвѣтомъ; такъ золото даетъ желтое пламя, желѣзо — красное, мѣдь—зеленое, олово — пурпуровое и т. д. Платина не горитъ, но разсыпается въ блестящіе шарики.

Количество теплоты, освобождаемой проволокой, чрезъ которую идетъ гальваническій токъ, *прямо пропорціонально ея сопротивленію и квадрату силы тока.*

Чтобы доказать этотъ законъ, берутъ стеклянный сосудъ, въ который помѣщаютъ проволоку, изогнутую въ видѣ спирали, и наполняютъ потомъ его алкоголемъ; такъ какъ алкоголь не проводитъ электричества, то весь гальваническій токъ проходитъ по проволокѣ и сообщаетъ ей теплоту, которая отнимается жидкостью. Зная возвышеніе температуры алкоголя во время опыта, вѣсъ его и теплоемкость, можно опредѣлить количество освобожденной теплоты.

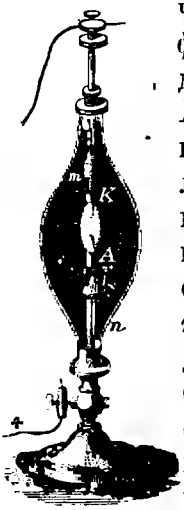
Изъ этихъ законовъ объясняются всѣ явленія, замѣчаемыя при накаливаніи проволокъ. При одной и той же силѣ тока, толстая проволока, по причинѣ малаго сопротивленія, получаетъ меньшее число единицъ теплоты, нежели тонкая; кромѣ того, теплородъ распредѣляется въ первой между бо́льшимъ числомъ частицъ, нежели во второй, а потому температура толстой проволоки будетъ ниже температуры тонкой. Металлы, представляющіе большое сопротивленіе гальваническому току, наилучше накаливаются. Если спаять двѣ проволоки одинаковаго діаметра—одну изъ серебра и другую изъ платины,—то вторая можетъ накалиться, между тѣмъ какъ первая будетъ еще темная, потому что серебро лучше проводитъ электричество, нежели платина. Двѣ проволоки, различающіяся только длиною, накаливаются до одной и той же температуры при одинаковой силѣ тока, потому что хотя въ длинной проволокѣ сопротивленіе будетъ болѣе, чѣмъ въ короткой, но зато теплота должна распространяться по большей во столько же разъ массѣ. Отсюда выходитъ, что, при замѣненіи короткой проволоки, въ одной и той же гальванической цѣпи, длинною, послѣдняя нагрѣется не такъ сильно, какъ первая, потому что, по причинѣ увеличенія сопротивленія, сила тока уменьшается. Можно взять столь тонкую и короткую проволоку, что она будетъ накаливаться отъ одного гальваническаго элемента.

Такъ какъ сопротивленіе батареи, для наивыгоднѣйшаго дѣйствія, должно быть равно сопротивленію вводимаго въ цѣпь тѣла, то, при накаливаніи толстыхъ проволокъ, полезно увеличивать поверхность гальваническихъ паръ, а не число ихъ, и только въ случаѣ тонкихъ и длинныхъ проволокъ можно усилить дѣйствіе чрезъ прибавленіе элементовъ.

Накаливаніе проволокъ имѣетъ важное приложеніе въ хирургическихъ операціяхъ: накаленная платиновая проволока дѣйствуетъ какъ ножъ, но имѣетъ ту выгоду, что даетъ менѣе обильныя истеченія крови.

293. Искра; вольтова дуга. Напряженія электричествъ на электродахъ гальванической батареи, даже состоящей изъ многихъ элементовъ, весьма малы; поэтому, при замыканіи цѣпи, искра получается слабая и при томъ, когда концы проводниковъ, идущихъ отъ полюсовъ батареи, почти другъ друга касаются. Зато при размыканіи цѣпи, содержащей многопарную гальваническую батарею, является рядъ искръ, столь быстро слѣдующихъ одна за другой, что получается совершенно непрерывный свѣтъ, котораго цвѣтъ зависитъ отъ вещества электродовъ и среды. Желѣзо въ воздухѣ даетъ искру красную, мѣдь—зеленую, ртуть — блестящую бѣлую. Свѣтъ въ особенности ярокъ, если электроды оканчиваются двумя стержнями угля; это явленіе называется *электрическимъ свѣтомъ*. Когда батарея очень сильна, то угли можно

удалить другъ отъ друга на 4 дюйма и болѣе, и свѣтъ не прекращается. Опытъ можно производить въ слѣдующемъ приборѣ. Два угля, вставленные въ металлическіе стержни *A* и *K* (фиг. 390), пропускаются чрезъ металлическія оправы въ стеклянный, овальной формы, сосудъ *mn*, изъ котораго можно вытянуть воздухъ, или наполнить какимъ нибудь газомъ. Стержень *K* подвижной, чтобы электроды можно было, по произволу, сближать или удалять другъ отъ друга. Въ началѣ опыта, угли надо привести въ соприкосновеніе, но когда уже свѣтъ явился, то ихъ можно удалить безъ прекращенія тока и свѣта; тогда между углями является овальная масса непрерывнаго свѣта, называемая *вольтовой дугой*. Положительный уголь, т. е. уголь, соединенный съ положительнымъ полюсомъ гальванической батареи, накаливается сильнѣе отрицательнаго и есть самый сильный источникъ изъ всѣхъ искусственныхъ источниковъ свѣта и тепла. Вольтова дуга состоитъ изъ раскаленныхъ паровъ углерода и тѣхъ веществъ, которыя входятъ въ составъ угольныхъ электродовъ. Газы и пары, при атмосферномъ давленіи и обыкновенной температурѣ, весьма худо, или совсѣмъ не проводятъ электричества, но, будучи раскалены и разрѣжены, становятся посредственными проводниками; поэтому, вольтова дуга служитъ соединительнымъ проводникомъ между угольными стержнями. Частію вслѣдствіе испаренія, частію отъ сгоранія въ кислородѣ воздуха, угольные стержни укорачиваются, и разстояніе между ними увеличивается; ихъ надо сближать, потому что иначе токъ прекратится, а съ нимъ и явленіе накаливанія.



Фиг. 390.

Употребляя 600 элементовъ, Депре́ довелъ уголь въ вольтовой дугѣ до размягченнаго состоянія; угольныя пластинки сгибались, при соприкосновеніи спаивались и вообще обнаружили состояніе, близкое къ плавленію [173].

Депре́ также нашелъ, что уголь легче обращается въ пары, нежели въ жидкость, именно изъ слѣдующаго опыта. Анодомъ служилъ цилиндръ изъ чистаго углерода, а катодомъ—пучекъ платиновыхъ тонкихъ проволокъ. Приборъ потомъ былъ подвергнутъ дѣйствію индуктивнаго электричества, съ помощію спирали Румкорфа [318], въ продолженіе цѣлаго мѣсяца, послѣ чего на платиновыхъ проволокахъ оказались микроскопически малые октаэдрическіе кристаллы алмаза, изъ которыхъ одни были черные и непрозрачные, другіе — прозрачные; слѣдовательно, уголь анода, обращенный въ пары, снова перешелъ въ твердое состояніе и въ кристаллическомъ видѣ осѣлъ на катодѣ.

Сильный свѣтъ, издаваемый раскаленными углями вольтовой дуги

имѣетъ приложеніе при освѣщеніи мостовъ, маяковъ, въ театрахъ, также въ обширныхъ мастерскихъ и т. п.; но такъ какъ накаленные угли въ воздухѣ сгораютъ, то придуманы особенные приборы, называемые *регуляторами* электрическаго свѣта, въ которыхъ угли, по мѣрѣ сгоранія, сближаются дѣйствіемъ гальваническаго тока, такъ что вольтова дуга остается на одной и той же высотѣ.

Электрическое освѣщеніе производится динамоэлектрическими машинами [317], а не гальваническими батареями, потому что содержаніе послѣднихъ несравненно дороже содержанія паровыхъ машинъ, помощію которыхъ динамоэлектрическія машины приводятся въ дѣйствіе. Кромѣ того, когда нѣтъ надобности держать источникъ свѣта на постоянной высотѣ,—съ большою выгодою пользуются *электрической свѣчкой* Яблочкова, вмѣсто регуляторовъ электрическаго свѣта,—приборовъ, дорого-стоющихъ, весьма сложныхъ и не вполнѣ надежныхъ. Яблочковъ имѣлъ счастливую мысль поставить угольные стержни *c* (фиг. 391) рядомъ, раздѣливъ ихъ слоемъ непроводящаго вещества—фарфоровой глиной, гипсомъ и проч.; только вершины ихъ соединяются тонкой палочкой угля или массой, составленной изъ гуммиарабика и угольнаго порошка. Основанія углей вставлены въ металлическія оправы *a* и *k*, которыя соединяются съ полюсами индуктивной машины. При замыканіи цѣпи, соединительная угольная палочка моментально сгораетъ и на вершинѣ свѣчки является вольтова дуга. Угольные стержни сгораютъ, уединяющій слой, по причинѣ высокой температуры, испаряется, и свѣчка мало по малу сгораетъ сверху до низу. Такъ какъ угольный стержень, соединенный съ анодомъ, скорѣе сгораетъ, чѣмъ другой, то на свѣчку Яблочкова нельзя дѣйствовать ни гальванической батареей, ни индуктивными токами постояннаго направленія; для нея необходимы машины, дающія токи перемѣннаго направленія.

Фиг. 391.

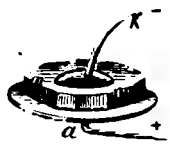
Накаливаніе углей имѣетъ еще приложеніе при взрывѣ пороховыхъ минъ.

294. Химическое дѣйствіе тока. Сложныя тѣла, когда чрезъ нихъ проходитъ электричество, разлагаются, причемъ однѣ изъ составныхъ частей являются на анодѣ, а прочія—на катодѣ. Для перваго примѣра возьмемъ окисленную воду. Чистая вода представляетъ чрезвычайно большое сопротивленіе гальваническому току; для увеличенія ея проводимости прибавляютъ нѣсколько сѣрной кислоты. Затѣмъ, берутъ стеклянный воронкообразный сосудъ (фиг. 392), утвержденный на станкѣ *bc*; чрезъ дно сосуда проводятъ двѣ платиновыя проволоки *a* и *k* съ пластинками *m* и *n* изъ того же металла и сообщаютъ ихъ съ электродами батареи. Въ сосудъ наливаютъ окисленную воду; взявъ потомъ два стеклянные колокола и наполнивъ ихъ тою же жидкостью, опро-

кидываютъ на пластинки *m* и *n* и привѣшиваютъ къ стойкѣ *bc*. При пропусканіи тока, на пластинкѣ *m*, служащей анодомъ, является кислородъ, а на катодѣ *n*—водородъ; оба газа собираются въ верхнихъ частяхъ колоколовъ, вытѣсняя оттуда воду, причемъ водорода *H* получается по объему въ два раза болѣе кислорода *O*. Если бы платиновыя пластинки были покрыты общимъ колоколомъ, то оба газа смѣшались бы и образовали гремучій газъ.

При разложеніи всѣхъ двойныхъ соединеній, то есть состоящихъ изъ двухъ простыхъ тѣлъ, одно является на анодѣ, другое—на катодѣ. Напр. кислоты хлористоводородная, бромистоводородная и проч. разлагаются такъ, что водородъ получается на отрицательномъ полюсѣ, а вещество, съ которымъ онъ соединенъ,—на положительномъ. При разложеніи металлическихъ окисловъ, металлъ осаждается на катодѣ, а кислородъ появляется на анодѣ. Дэви, помощію батареи въ 250 элементовъ, доказалъ, что щелочи, до тѣхъ поръ считавшіяся неразложимыми, суть окисленія неизвѣстныхъ еще тогда металловъ: калія, натрія и проч.

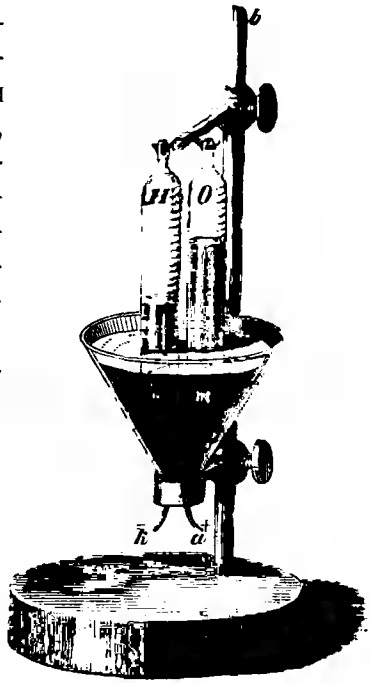
Главное затрудненіе было въ томъ, что эти металлы, по причинѣ большого сродства съ кислородомъ воздуха, снова окисляются тотчасъ послѣ освобожденія. Легче всего повторить опытъ Дэви слѣдующимъ образомъ. На платиновую пластинку *a* (фиг. 393), сообщенную съ положительнымъ полюсомъ батареи, состоящей только изъ 6 элементовъ Бунзена, кладутъ кусокъ кали *m*, въ которомъ дѣлаютъ углубленіе; въ углубленіе наливаютъ ртуть и соединяютъ ее, помощію проволоки *k*, съ отрицательнымъ полюсомъ батареи. Тогда кали разлагается, кислородъ освобождается на платинѣ, а металлъ калій, защищенный ртутью отъ соприкосновенія съ воздухомъ, даетъ амальгаму и потомъ отдѣляется дистиллированіемъ. Можно также углубленіе въ кускѣ кали наполнить нефтью, недѣйствующею химически на калій; въ этомъ случаѣ, металлъ получается въ видѣ блестящихъ зеренъ, но тогда нужны довольно сильные токи (30 элементовъ).



Фиг. 393.

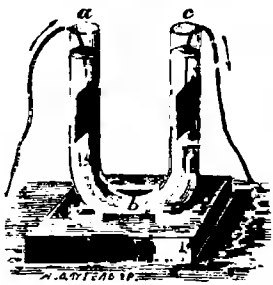
Когда гальваническій токъ проходитъ чрезъ водный растворъ химической соли, то на катодѣ является металлъ, а на анодѣ—прочія составныя части соли; если металлъ разлагаетъ воду при обыкновенной температурѣ (калій, натрій), то онъ замѣщаетъ часть ея водорода, образуя щелочь (кали, натръ), а водородъ отдѣляется; въ противномъ случаѣ, металлъ отлагается на пластинкѣ, служащей катодомъ, безъ освобожденія водорода. Самый опытъ производятъ въ сосудѣ *abc* (фиг. 394), имѣющемъ видъ буквы *U*, чтобы разложившіяся вещества не смѣшивались снова; въ него наливаютъ сгущенный растворъ соли, окрашенный фіалковымъ настоемъ, и погружаютъ платиновые электроды. Если бы испытуемое вещество было сѣрнонатріева или глауберова соль,

то въ томъ колѣнѣ сифона, куда помѣщенъ положительный полюсъ a, жидкость, спустя нѣсколько минутъ, покраснѣетъ, а въ другомъ колѣнѣ — позеленѣетъ; первое происходитъ отъ дѣйствія на фіалковый растворъ кислоты, именно сѣрной, а второе — отъ щелочи, именно натра. При этомъ отдѣляется на анодѣ кислородъ, а на катодѣ — водородъ. Если бы, вмѣсто глауберовой соли, употребили мѣдный купоросъ, то на платиновой пластинкѣ получился бы слой металлической мѣди, а изъ газовъ освобождался бы одинъ кислородъ на анодѣ.



Фиг. 392.

Если въ растворѣ находятся нѣсколько разныхъ солей, то разлагается только та, которая менѣе прочна и лучше проводитъ электричество, а прочія остаются безъ измѣненія; впрочемъ, когда послѣднихъ очень много сравнительно съ первою, то и онѣ разлагаются. Такъ, при смѣшеніи азотномѣдной и азотносеребряной солей въ равныхъ количествахъ, разлагается одна серебряная соль, и только при достаточномъ увеличеніи относительнаго количества мѣдной соли начинаетъ осаждаться на отрицательномъ полюсѣ, вмѣстѣ съ серебромъ, и мѣдь.



Фиг. 394.

295. Посредственныя (химическія) дѣйствія. Разъединенныя дѣйствіемъ гальваническаго тока, составныя части какого либо тѣла могутъ химически дѣйствовать или на жидкость, въ которой растворены, или на вещество электродовъ, или другъ на друга и т. д. Отъ этого, происходятъ *посредственныя* дѣйствія или химическія, которыя не должно смѣшивать съ дѣйствіемъ гальваническаго тока. Приводимъ тому примѣры.

При разложеніи окисленной воды (фиг. 392) разлагается не вода, а сѣрная кислота (H_2SO_4), какъ вещество, лучше проводящее электричество, чѣмъ вода [294]. На катодѣ является водородъ (H_2), а на анодѣ тѣло SO_4. Тѣло SO_4 въ отдѣльномъ состояніи не извѣстно; допу-

скаютъ, что въ моментъ своего выдѣленія оно дѣйствуетъ химически на воду, соединяется съ ея водородомъ и образуетъ снова сѣрную кислоту, а кислородъ воды освобождается на анодѣ. Такимъ образомъ, окончательно выдѣляются на электродахъ только кислородъ и водородъ, въ той пропорціи, которая нужна для образованія воды; количество же сѣрной кислоты въ растворѣ не измѣняется.—Въ этомъ примѣрѣ, дѣйствіе гальваническаго тока заключается въ разложеніи сѣрной кислоты на водородъ и SO_4. Выдѣленіе же на анодѣ кислорода есть слѣдствіе химическаго дѣйствія тѣла SO_4 на воду.

Когда при разложеніи окисленной воды употребляютъ электроды изъ цинка, то на катодѣ является водородъ сѣрной кислоты, а тѣло (SO_4), соединяется съ цинкомъ анода и даетъ цинковый купоросъ ($ZnSO_4$). Здѣсь дѣйствіе гальваническаго тока заключается только въ разложеніи сѣрной кислоты; все остальное есть химическое явленіе.

Въ случаѣ разложенія солей, осажденіе металла на катодѣ и отдѣленіе прочихъ составныхъ частей на анодѣ производится гальваническимъ токомъ. Если металлъ способенъ разложить воду (натрій, калій), то окисленіе металла и освобожденіе водорода есть явленіе химическое. Когда пластинка, служащая анодомъ, сдѣлана изъ металла легко окисляемаго, напримѣръ мѣди, или цинка, то металлъ растворяется, и кислородъ уже не отдѣляется. Здѣсь также явленіе химическое.

296. Поляризація электродовъ. Составныя части какого либо тѣла, разъединенныя гальваническимъ токомъ, обнаруживаютъ стремленіе соединиться снова и даютъ начало новому гальваническому току, который, имѣя противоположное направленіе, уменьшаетъ силу главнаго тока. Въ существованіи этого второстепеннаго тока убѣдиться можно различными способами.

Если погрузить платиновые электроды въ водный растворъ глауберовой соли, пропустить гальваническій токъ и, по прошествіи нѣкотораго времени, вывести изъ цѣпи батарею, а вмѣсто нея ввести гальваноскопъ, то магнитная стрѣлка отклоняется, указывая, что въ цѣпи есть токъ, и что направленіе его противоположно съ первымъ. Это происходитъ не только въ томъ случаѣ, когда электроды погружены въ сосудъ обыкновенной формы, гдѣ разложенныя вещества могутъ непосредственно касаться, но даже въ сосудѣ въ видѣ буквы U (фиг. 394).

Если въ приборѣ для разложенія окисленной воды, въ каждомъ изъ двухъ газопріемниковъ H и O (фиг. 392), находятся уже водородъ и кислородъ, и если соединить электроды потомъ съ гальваноскопомъ, то магнитная стрѣлка показываетъ присутствіе тока; въ то же время водородъ и кислородъ постепенно образуютъ воду, отъ чего количество ихъ

уменьшается. Въ приведенныхъ примѣрахъ мы встрѣчаемъ удивительныя явленія: разнородныя тѣла соединяются чрезъ нѣкоторое разстояніе при помощи третьяго; въ первомъ кислота и основаніе соединяются чрезъ средній растворъ соли, во второмъ кислородъ и водородъ— чрезъ окисленную воду.

Напряженіе электричества, освобождаемаго обратнымъ химическимъ дѣйствіемъ, называется *поляризаціею электродовъ*.

Поляризація происходитъ во всѣхъ случаяхъ, когда на электродахъ находятся, хотя въ самомъ незначительномъ количествѣ, вещества, обладающія химическимъ сродствомъ другъ къ другу. Если двѣ платиновыя пластинки погрузить на нѣкоторое время: одну въ кислоту, другую въ щелочь, и потомъ опустить въ жидкость, проводящую электричество, то получается токъ, идущій чрезъ жидкость отъ щелочи къ кислотѣ. Подобное же явленіе замѣчается, когда платиновыя пластинки оставались нѣсколько времени одна въ атмосферѣ водорода, другая— кислорода.

Чтобы опредѣлить величину поляризаціи электродовъ, составляютъ цѣпь изъ гальванической батареи, гальванометра, агометра и того снаряда, въ которомъ предполагается поляризація, наприм. прибора для разложенія воды. Указаннымъ выше способомъ [284] находятъ общую электровозбудительную силу всей цѣпи, равную электровозбудительной силѣ батареи безъ поляризаціи электродовъ; назовемъ эту разность чрезъ a. Затѣмъ, изъ цѣпи выводятъ приборъ съ поляризаціей и опредѣляютъ k—электровозбудительную силу одной батареи. Разность $k - a$, очевидно, представитъ поляризацію электродовъ. Подобнымъ образомъ были найдены слѣдующіе законы:

1) Газы поляризуютъ электроды несравненно сильнѣе, нежели твердыя и жидкія вещества. Отъ этого, гальваническіе элементы, въ которыхъ освобождаются газы, весьма слабы; таковы элементы Вульстена и Сми.

2) Разные газы поляризуютъ электроды въ различной степени. Поляризація зависитъ также отъ вещества электродовъ и жидкости. Наприм. платина поляризуется водородомъ сильнѣе, чѣмъ всѣ другіе металлы. Кислородъ, освобождающійся при разложеніи азотной кислоты съ помощію платиновыхъ электродовъ, слабѣе поляризуетъ платину, чѣмъ кислородъ при разложеніи сѣрной кислоты.

3) Поляризація электродовъ увеличивается при увеличеніи силы тока и уменьшеніи поверхности электродовъ.

4) Если въ цѣпи есть нѣсколько поляризацій, то общая сила равна суммѣ всѣхъ поляризацій. Такъ, въ приборѣ для разложенія сѣрной кислоты, помощію платиновыхъ электродовъ, общая сила равна суммѣ поляризацій платины кислородомъ и водородомъ. Въ случаѣ мѣдныхъ электродовъ, кислородъ не освобождается, и остается только поляризація мѣди водородомъ.

5) Если газовъ не выдѣляется, а электроды и жидкость, при прохожденіи чрезъ нее гальваническаго тока, въ своемъ составѣ не измѣняются, то никакой поляризаціи нѣтъ. Такое явленіе наблюдается при разложеніи мѣднаго купо-

роса посредствомъ мѣдныхъ электродовъ, потому что тогда одинъ изъ электродовъ растворяется въ жидкости, а другой утолщается отъ выдѣляющейся изъ раствора мѣди, самый же растворъ не измѣняется. То же самое бываетъ, когда вообще подвергающееся разложенію вещество заключаетъ въ своемъ составѣ тотъ же металлъ, изъ котораго приготовлены электроды.

Поляризація даетъ возможность объяснить нѣкоторыя явленія.

Если поляризація электродовъ при разложеніи нѣкотораго вещества болѣе электровозбудительной силы батареи, то вещество это не разлагается. Элементъ Даніеля наприм. не разлагаетъ раствора сѣрной кислоты въ водѣ въ случаѣ платиновыхъ электродовъ, потому что его сила менѣе суммы поляризацій платины водородомъ и кислородомъ. Но если устранить отдѣленіе одного изъ этихъ газовъ, то разложеніе тотчасъ же начинается. Чтобы прекратить отдѣленіе кислорода, надо въ жидкости растворить желѣзный купоросъ, обладающій свойствомъ поглощать кислородъ. Если растворить въ жидкости хлоръ, то, по причинѣ его химическаго сродства съ водородомъ, послѣдній не выдѣляется. Элементъ Даніеля равнымъ образомъ можетъ разлагать слабую сѣрную кислоту съ помощію цинковыхъ или мѣдныхъ электродовъ, потому что тогда освобождается только одинъ газъ, именно водородъ.

X 297. Законы химическихъ разложеній. При всѣхъ химическихъ разложеніяхъ, производимыхъ гальваническимъ токомъ, замѣчаются слѣдующіе законы.

1) Количество веществъ, отложившихся на электродахъ, пропорціонально количеству электричества, пробѣжавшаго въ цѣпи, и не зависитъ отъ прочихъ обстоятельствъ. Для доказательства, въ гальваническую цѣпь вводятъ гальванометръ и приборъ для разложенія какого либо вещества, наприм. мѣднаго купороса; опредѣляютъ съ одной стороны силу тока, съ другой—количество мѣди, отложившейся на катодѣ въ единицу времени. Такимъ образомъ можно убѣдиться, что количество вещества (наприм. мѣди), при равныхъ промежуткахъ времени, пропорціонально силѣ тока, а, при равныхъ токахъ, пропорціонально времени, иными словами—пропорціонально количеству электричества. Въ этомъ состоитъ первая часть упомянутаго закона.—Для доказательства второй части того же закона,—что количество вещества не зависитъ отъ другихъ условій, кромѣ количества электричества,—вводятъ въ одну и ту же цѣпь нѣсколько приборовъ для разложенія воднаго раствора сѣрной кислоты, или другого вещества, такъ чтобы чрезъ нихъ прошелъ послѣдовательно одинъ и тотъ же токъ. Оказывается, что, какъ бы ни было различно устройство этихъ приборовъ, количество собранныхъ отъ разложенія веществъ въ каждомъ изъ нихъ одинаково. —Отсюда конечно никакъ не слѣдуетъ, что, дѣйствуя одной и той же батареей на каждый снарядъ, мы получимъ въ равные промежутки времени одинаковыя количества веществъ, потому что, при замѣненіи одного прибора другимъ, измѣнится сопротивленіе гальванической цѣпи, а съ нею и сила тока.

Основываясь на разсматриваемомъ законѣ, можно судить о силѣ тока по количеству веществъ, собранныхъ на электродахъ, наприм. по количеству мѣди, выдѣлившейся изъ мѣднаго купороса, также по количеству водорода, или кислорода, полученныхъ при разложеніи воднаго раствора сѣрной кислоты и проч. Чтобы знать количество мѣди, электродъ взвѣшиваютъ до опыта и послѣ опыта. Для измѣренія количества кислорода, или водорода, дѣлаются дѣленія извѣстной емкости на стеклянныхъ колоколахъ (фиг. 392), въ которыхъ собираются эти газы. Этотъ способъ измѣренія тока имѣетъ то важное преимущество предъ способомъ гальванометрическимъ, что зависитъ только отъ силы тока, между тѣмъ какъ одинъ и тотъ же токъ въ разныхъ гальванометрахъ отклоняетъ магнитную стрѣлку на разные углы. Приборы, приспособленные для измѣренія силы тока по химическому его дѣйствію, называются *вольтаметрами*; устройство ихъ весьма различно.

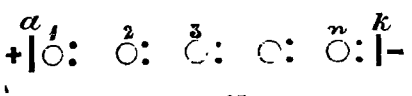
2) Если одинъ и тотъ же токъ проходитъ послѣдовательно чрезъ нѣсколько веществъ, то количество простого тѣла, отложившагося на одномъ изъ электродовъ, прямо пропорціонально либо его химическому паю, либо цѣлому числу паевъ. Возьмемъ для примѣра воду, мѣдный купоросъ, ляписъ и азотнокаліеву соль. При пропусканіи тока чрезъ всѣ эти вещества разомъ, на 2 грамма водорода отдѣлятся: 63,4 мѣди, 216 серебра и 78 калія, т. е. на два пая водорода—по два пая серебра и калія и одинъ пай мѣди.

3) Когда токъ производится однимъ гальваническимъ элементомъ (или параллельнымъ сочетаніемъ нѣсколькихъ элементовъ), то на каждый пай растворенного цинка въ элементѣ (или во всемъ параллельномъ сочетаніи элементовъ) приходится два пая водорода въ приборѣ для разложенія воды, или цѣлое число паевъ металла при разложеніи соли. Если наприм. въ элементѣ растворится 65 грам. цинка, то въ той же цѣпи можетъ выдѣлится 2 грам. водорода, или 216 гр. серебра, или 78 гр. калія и проч. По крайней мѣрѣ такъ будетъ, если въ цѣпи нѣтъ химическаго дѣйствія, когда она не замкнута. Если употребляется много элементовъ, введенныхъ одинъ за другимъ, то въ каждомъ растворяется такое же количество цинка, какъ въ одномъ элементѣ. Значитъ, чтобы разлагать вещества съ наименьшею тратою цинка, надлежало бы употреблять параллельныя соединенія; но тогда слишкомъ слабо напряженіе электричества, и, слѣдовательно, дѣйствіе будетъ очень медленное, особенно, если вещество представляетъ значительное сопротивленіе.

λ 298. Количество электричества, освобождаемаго гальваническимъ токомъ. Нѣтъ сомнѣнія, что электричества, доставляемыя электрической машиной и гальваническимъ элементомъ, совершенно тожественны, хотя дѣйствія, ими производимыя, не одинаковы. Такъ, электрическая машина способна дать сильную искру, сдѣлать сотрясеніе въ нашемъ организмѣ, и вообще производитъ электрическія дѣйствія во всѣхъ тѣхъ случаяхъ гдѣ нужно преодолѣть огромное сопротивленіе, но она весьма слабо отклоняетъ магнитную стрѣлку и едва замѣтно

разлагаетъ вещества. Напротивъ, гальваническая батарея—даже изъ небольшого числа элементовъ—быстро производитъ химическое разложеніе, сильно отклоняетъ магнитную стрѣлку, но, только состоя изъ многихъ элементовъ, можетъ дать искру и физіологическія дѣйствія, впрочемъ довольно слабыя сравнительно съ электрической машиной. Такія разности въ дѣйствіи объясняются весьма просто. Такъ какъ количество разложенныхъ веществъ пропорціонально силѣ тока или количеству электричества, пробѣгающаго по проводнику [297], то необходимо допустить, что въ электрической машинѣ электричество освобождается въ весьма незначительномъ количествѣ; но какъ оно перескакиваетъ изъ кондуктора въ близкія тѣла не непрерывно, а чрезъ нѣкоторые промежутки времени, то и можетъ достигать сильнаго напряженія. Напротивъ, въ замкнутой гальванической цѣпи, по проводнику непрерывно течетъ чрезвычайно много электричества, но которое не можетъ имѣть слишкомъ большого напряженія. Какъ велико это количество электричества, можно видѣть изъ того, что двѣ проволоки, цинковая и платиновая, толщиною въ $^1/_7$ линіи, погруженныя на $1^1/_2$ линіи въ окисленную воду, даютъ въ продолженіе 3″ столько же электричества, какъ весьма сильная электрическая машина отъ 20 оборотовъ колеса.

299. Электрохимическая гипотеза химическаго дѣйствія гальваническаго тока. Для объясненія разложеній, производимыхъ гальваническимъ токомъ, составили особенную гипотезу, называемую *электрохимическою*. По этой гипотезѣ, составныя части тѣла заряжены противоположными электричествами; такъ, каждая частица воды состоитъ изъ двухъ атомовъ водорода, заряженныхъ положительнымъ электричествомъ, и одного атома кислорода, заряженнаго отрицательно. Вообразимъ рядъ такихъ частицъ между электродами батареи: a анодомъ и k катодомъ (фиг. 395); атомы водорода обозначимъ черными точками, кислорода—бѣлыми кружками. При дѣйствіи гальваническаго тока всѣ атомы водорода повернутся къ отрицательному полюсу, а кислорода — къ положительному. Кислородъ первой частицы (1) воды притянется къ аноду, а водородъ соединится съ кислородомъ второй частицы (2) и дастъ воду; водородъ второй частицы (2) перейдетъ къ кислороду третьей (3) и т. д.; наконецъ, водородъ крайней частицы n справа освободится на катодѣ.



Фиг. 395.

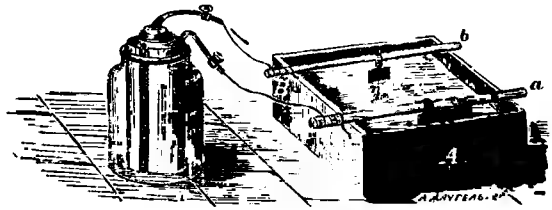
Такъ же объясняется разложеніе всякаго двойного соединенія.

Въ случаѣ соли, предполагаютъ, что каждая частица ея состоитъ изъ двухъ частей: металла и частицы особеннаго тѣла, образованнаго изъ прочихъ составныхъ частей соли, и которое, для сокращенія рѣчи, назовемъ *радикаломъ* кислоты. Такъ, глауберова соль Na_2SO_4 состоитъ изъ натрія и радикала сѣрной кислоты SO_4, а мѣдный купоросъ—изъ мѣди и радикала той же кислоты. Металлъ заряженъ положительно, радикалъ—отрицательно. Пусть рядъ частицъ мѣднаго купороса находится между электродами батареи, такъ что ато-

мы мѣди обращены къ катоду, а радикалы—къ аноду; обозначимъ атомы мѣди черными квадратами, а радикалы—бѣлыми (фиг. 396). Свободное положительное электричество анода притягиваетъ отъ частицы (1) мѣднаго купороса радикалъ и отталкиваетъ мѣдь, которая соединяется съ радикаломъ второй частицы (2) мѣднаго купороса, а мѣдь этой частицы переходитъ къ радикалу третьей частицы (3) купороса и т. д. Наконецъ, изъ послѣдней справа частицы *m* мѣднаго купороса осаждается на катодѣ мѣдь. Радикалъ сѣрной кислоты, освободившійся на анодѣ, разлагаетъ воду; отъ этого, получается сѣрная кислота и кислородъ.—Въ водѣ, окисленной слабою сѣрною кислотой, предполагаютъ существованіе тѣла, состоящаго изъ двухъ атомовъ водорода и одной частицы радикала. Водородъ имѣетъ свободное положительное электричество, а радикалъ — отрицательное; поэтому, первый, при дѣйствіи гальваническаго тока, является въ катодѣ, а второй—на анодѣ.

Фиг. 396.

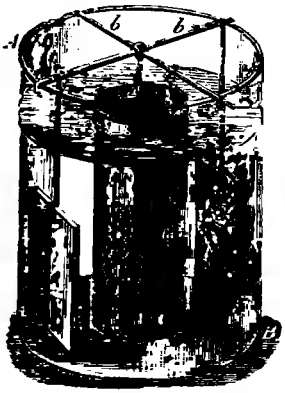
300. Приложенія. Одно изъ замѣчательнѣйшихъ приложеній гальваническаго тока есть *гальванопластика*, открытая почти въ одно время Спенсеромъ въ Англіи и Якоби въ Россіи, въ 1837 году. Она основана на разложеніи гальваническимъ токомъ нѣкоторыхъ солей, и премущественно мѣднаго купороса, синеродистаго серебра и синеродистаго золота. *AB* (фиг. 397) изображаетъ стеклянный или деревянный просмоленный ящикъ, наполненный насыщеннымъ растворомъ мѣднаго купороса; вдоль его лежатъ двѣ мѣдныя палки *a* и *b*, сообщенныя съ электродами гальваническаго элемента; къ палкамъ прикрѣплены мѣдныя пластинки *m* и *n*. При дѣйствіи гальваническаго тока, купоросъ разлагается: на катодѣ *m* осаждается мѣдь, а пластинка *n*, служащая анодомъ, растворяется въ жидкости и замѣщаетъ мѣдь, осѣвшую изъ раствора на катодъ; такимъ образомъ, количество мѣднаго купороса въ растворѣ не измѣняется. Впродолженіе 24 часовъ выдѣлившаяся мѣдь образуетъ тонкую пластинку, которую можно снять; она представляетъ вѣрнѣйшій отпечатокъ всѣхъ неровностей, которыя были на катодѣ. Если катодомъ служила металлическая, или какая нибудь другая, вогнутая картина, то снятая пластинка будетъ вѣрнѣйшее выпуклое ея изображеніе.



Фиг. 397.

Можно снять не только обратное гальванопластическое изображеніе съ готоваго барельефа, но и приготовить совершенную копію какой угодно медали,

картины, политипажа и проч. Сплавляютъ одинъ фунтъ воска съ фунтомъ стеарина и двумя фунтами хорошаго порошковатаго графита. Положивъ потомъ горизонтально медаль и окруживъ полоскою картона, наливаютъ на нее расплавленную массу и оставляютъ на нѣсколько часовъ, пока масса совершенно застынетъ. Если медаль была предварительно немного смазана масломъ, то форма легко отстанетъ и будетъ представлять обратное изображеніе медали. Гуттаперча есть также весьма хорошій матеріалъ для изготовленія снимковъ; пластинку изъ гуттаперчи, размягченную въ горячей водѣ, накладываютъ на оригиналъ (напр. политипажъ) и придавливаютъ прессомъ. Чтобы форма отстала отъ оригинала, надо его натереть графитомъ. Края формы потомъ обравниваютъ и оклеиваютъ оловяннымъ листомъ, а самое изображеніе натираютъ графитомъ, чтобы чрезъ форму могъ проходить гальваническій токъ. Къ краю формы прибиваютъ свинцовую полоску, или проволоку, и обмазываютъ ее и оловянный листъ воскомъ, чтобы на нихъ не осаждалась мѣдь. Затѣмъ берутъ стеклянный сосудъ AB (фиг. 398); на стѣнки его кладутъ двѣ спаянныя между собою мѣдныя пластинки b; въ сосудъ опускаютъ глиняный горшокъ c, а въ него ставятъ цинковый стержень d, прикрѣпленный къ пластинкамъ b; въ стеклянный сосудъ наливаютъ мѣдный купоросъ, а въ глиняный—весьма слабой сѣрной кислоты; наконецъ, къ пластинкамъ b прикрѣпляютъ свинцовый проводникъ формы (на фигурѣ изображены двѣ формы). Такого рода приборъ, состоящій изъ двухъ твердыхъ тѣлъ: цинка и графита, дѣйствуетъ какъ гальваническій элементъ и есть вмѣстѣ съ тѣмъ гальванопластическій приборъ; токъ идетъ отъ формы въ свинцовый проводникъ, пластинку b, цинкъ, сѣрную кислоту, мѣдный купоросъ и въ форму, на которую осаждается мѣдь. По прошествіи 24 часовъ или болѣе, пластинку съ формы снимаютъ.



Фиг. 398.

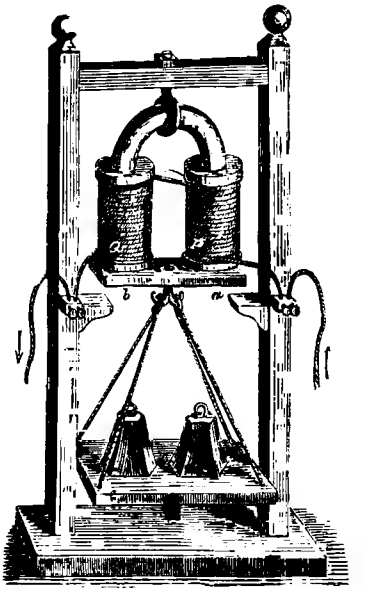
Въ недавнее время съ большою выгодою во многихъ случаяхъ, стали замѣнять мѣдный купоросъ двойною солью, состоящей изъ двухъ солей: сѣрножелѣзной и сѣрноамміачной; тогда изъ раствора выдѣляется чистое желѣзо.

На томъ же началѣ основано гальваническое серебреніе. Наливаютъ растворъ синеродистаго серебра въ водѣ въ стеклянную ванну и, очистивъ вещь, которую хотятъ серебрить, сообщаютъ ее съ катодомъ элемента Бунзена; анодомъ должна служить серебряная пластинка. При дѣйствіи гальваническаго тока, изъ раствора выдѣляется серебро на вещь, а серебряная пластинка растворяется въ жидкости, такъ что количество серебра въ растворѣ постоянно будетъ одно и то же. Гальваническое золоченіе производится подобнымъ же образомъ.

301. Электромагнитизмъ. Проводникъ, содержащій гальваническій токъ, обладаетъ магнитными свойствами: притягиваетъ желѣзо и сталь, дѣйствуетъ на магниты и проч. Если проволоку, по которой течетъ электричество, погрузить въ желѣзныя опилки, то онѣ при-

стаютъ къ проводнику, располагаясь въ видѣ колецъ; по прекращеніи тока, онѣ отпадаютъ. Магнитная стрѣлка, привѣшенная на нитку, или положенная на остріе, при дѣйствіи гальваническаго тока отклоняется въ ту или другую сторону; на этомъ основано устройство мультипликатора [274].

Если подковообразный стержень PQ (фиг. 399) обмотать проволокой въ видѣ спирали и пропустить по ней токъ, то желѣзо намагничивается и притягиваетъ желѣзный якорь ab съ привѣшенною къ нему чашкою, на которую можно положить гири; магнитизмъ немедленно пропадаетъ, какъ скоро прекращаютъ токъ. Приближая магнитную стрѣлку къ стержню PQ, замѣтимъ въ P присутствіе сѣвернаго, а въ Q—южнаго магнитизма. Вообще, если токъ въ спирали, окружающей обращенный къ намъ конецъ стержня, идетъ по направленію часовой стрѣлки, то магнитизмъ здѣсь будетъ южный, въ противномъ случаѣ—сѣверный. При перемѣнѣ направленія тока, перемѣщаются и полюсы. Приборъ такого рода называется *электромагнитомъ*. Электромагниты несравненно сильнѣе магнитовъ, и сила ихъ можетъ быть произвольно увеличена.



Фиг. 399.

Должно замѣтить, что одинъ якорь, если онъ не довольно тяжелъ, не отпадаетъ по прекращеніи тока; но если его оторвать, то, будучи приложенъ снова, онъ уже не притягивается. Объясняется это весьма просто. Электромагнитъ, когда цѣпь замкнута, возбуждаетъ въ якорѣ магнитизмъ: въ b—сѣверный и въ a—южный. По прекращеніи тока, разнородные магнитизмы электромагнита и якоря продолжаютъ притягиваться и потому не уничтожаются; но когда якорь удаленъ, то его магнитизмы между собою безпрепятственно соединяются, такъ же какъ и въ электромагнитѣ, и обѣ желѣзныя массы возвращаются къ естественному состоянію.

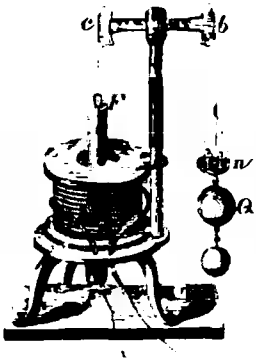
Сила электромагнита возрастаетъ съ увеличеніемъ тока и числа оборотовъ намагничивающей спирали, но до нѣкотораго предѣла, за которымъ дальнѣйшее увеличиваніе силы тока и числа оборотовъ не измѣняетъ силы магнитизма; она возрастаетъ также съ увеличеніемъ размѣровъ желѣзнаго стержня.

Сила электромагнита зависитъ еще отъ формы наконечниковъ или массъ

желѣза, прикладываемыхъ къ полюсамъ магнитовъ, и быстро уменьшается при увеличиваніи разстоянія между якоремъ и электромагнитомъ; если наконечники имѣютъ форму, изображенную на фигурѣ 324, то притяженіе, при удаленіи якоря, уменьшается не столь быстро. Чѣмъ менѣе реберъ и заостреній въ наконечникахъ, тѣмъ дѣйствіе электромагнита сильнѣе.

Если спиральная проволока, содержащая токъ, обвиваетъ полосу изъ закаленной стали, то сталь намагничивается и сохраняетъ магнитизмъ по прекращеніи тока.

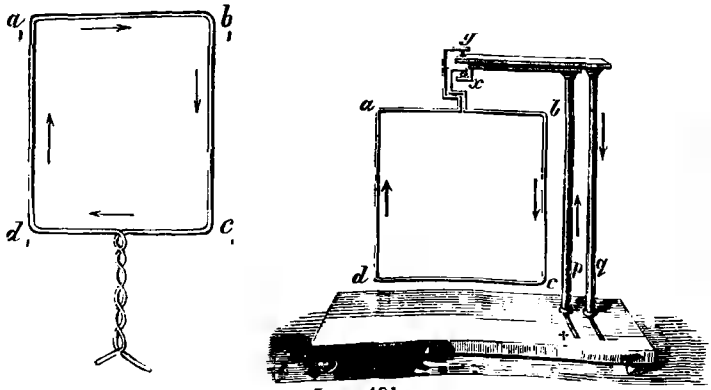
Если внутри магнитной спирали M (фиг. 400) повѣсить желѣзный стержень FF на снуркѣ, привязанномъ къ рычагу cb, къ другому концу котораго прикрѣплена чашка n съ противовѣсомъ Q, то, при пропусканіи тока, желѣзный цилиндръ стремится стать въ такое положеніе, чтобы середина его совпадала съ серединою спирали M; чтобы вывести его изъ этого положенія, потребуется положить на чашку n нѣкоторый грузъ.



Фиг. 400.

302. Дѣйствіе токовъ на токи. Проводники, по которымъ движутся гальваническіе токи, обнаруживаютъ другъ на друга дѣйствія, заключающіяся въ притяженіи и отталкиваніи. Явленіе это, открытое Амперомъ, можно подтвердить множествомъ опытовъ. Для сокращенія рѣчи, вмѣсто выраженія: *проводникъ, по которому идетъ токъ*, будемъ просто говорить: *токъ*.

Два параллельные между собою тока, идущіе по одному направленію, притягиваются, а по различнымъ — отталкиваются, или точнѣе: двѣ параллельныя проволоки, по которымъ идутъ токи по одному направленію, притягиваются; когда же токи имѣютъ направленіе противоположное другъ другу, то проволоки отталкиваются. Для доказательства, навѣшиваютъ мѣдную проволоку $abcd$ (фиг. 401), согнутую въ видѣ прямоугольника,



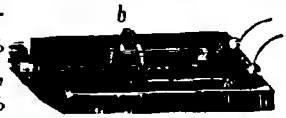
Фиг. 401.

на металлическія стойки p и q. Чтобы проволочный прямоугольникъ обладалъ

возможно большею подвижностью, его приготовляютъ изъ алюминія—металла весьма легкаго, а на концахъ укрѣпляютъ стальныя иглы, которыя опираются въ чашечки x и y, сдѣланныя въ стойкахъ и содержащія по каплѣ ртути. Гальваническій токъ вводятъ чрезъ одну изъ стоекъ, наприм. p, откуда онъ направляется, чрезъ чашечку x, въ прямоугольникъ $bcda$ и возвращается чрезъ чашечку y и стойку q. Затѣмъ, берутъ другой проволочный прямоугольникъ, $a_1b_1c_1d_1$ и, впустивъ въ него токъ, приближаютъ къ какой нибудь части проводника $abcd$; такимъ образомъ можно убѣдиться въ справедливости вышесказаннаго. Если наприм. приблизимъ b_1c_1 къ ad, то прямоугольникъ $abcd$ начинаетъ вращаться, при чемъ ad отъ b_1c_1 удаляется; между a_1d_1 и ad замѣчается взаимное притяженіе.—Токи, содержащіеся въ стойкахъ p и q, оказываютъ, каждый въ отдѣльности, дѣйствіе на ближайшую вертикальную часть прямоугольника $abcd$, но эти дѣйствія, какъ противоположныя и равныя, взаимно уничтожаются.

Два непараллельныя между собою тока стремятся стать параллельно другъ другу и чтобы при этомъ направленія ихъ были одинаковы. Для доказательства, поставимъ прямоугольникъ $a_1b_1c_1d_1$ горизонтально подъ $abcd$, такъ чтобы ближайшія стороны dc и a_1b_1 были непараллельны между собою; тогда прямоугольникъ $abcd$ начнетъ вращаться около вертикальной оси до тѣхъ поръ, пока токи a_1b_1 и dc не будутъ имѣть одно и то же направленіе.

Послѣдовательныя частицы одного и того же тока отталкиваются. Чтобы убѣдиться въ этомъ, берутъ стеклянный или деревянный ящикъ B (фиг. 402), раздѣленный перегородкой изъ тѣхъ же веществъ на два отдѣленія, въ которыя наливаютъ ртути, соединяемой проволоками съ полюсами батареи. Въ оба вмѣстилища на ртуть кладутъ проволоку abk, изогнутую такимъ образомъ, чтобы она не касалась перегородки; проволока должна быть вся осмолена, кромѣ концовъ a и k, которые загнуты во ртуть. Токъ идетъ сначала во ртуть одного отдѣленія, потомъ чрезъ a въ проволоку abk и оттуда чрезъ k и ртуть назадъ въ батарею. При этомъ концы a и k проводника отъ ртути отталкиваются, и онъ принимаетъ движеніе вдоль ящика, къ B.



Фиг. 402.

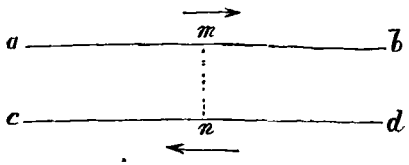
Упомянутыя явленія могутъ быть формулированы однимъ общимъ правиломъ:

Когда два тока ab и cd (фиг. 403) *не параллельны, то тѣ части проводниковъ, по которымъ токи приближаются, или удаляются отъ ихъ кратчайшаго разстоянія mn, притягиваются; части тока, изъ которыхъ одна приближается, а другая удаляется отъ кратчайшаго разстоянія отталкиваются.* Такимъ образомъ, части am и nd, cn и mb отталкиваются, а am и cn, mb и nd притягиваются. Въ частномъ случаѣ, когда токи ab и cd (фиг. 404) параллельны и имѣютъ одно и то же направленіе, за кратчайшее разстояніе можно принять всякую прямую линію mn, перпендикулярную къ нимъ и заключенную между ними. Тогда токи am и cn, а также mb и nd взаимно притягиваются, потому что первые приближаются, вторые удаляются отъ кратчайшаго разстоянія. Токи: am и nd, cn и mb, взаимно отталкиваются, потому что, въ каждой парѣ токовъ, одинъ приближается, другой удаляется отъ кратчайшаго разстоянія. Такъ какъ притягивающіеся токи

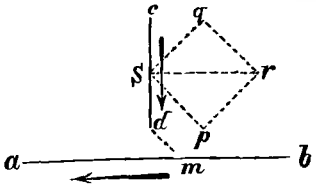
ближе другъ къ другу, чѣмъ отталкивающіеся, то общее дѣйствіе будетъ притяженіе.—Если параллельные токи ab и cd (фиг. 405) противоположны, то am и dn, mb и nc притягиваются, am и nc, dn и mb отталкиваются; но какъ отталкиваніе болѣе притяженія, то общее дѣйствіе будетъ отталкиваніе.

303. Всѣ явленія взаимнаго дѣйствія токовъ подходятъ подъ упомянутое правило. Мы разсмотримъ нѣкоторыя изъ нихъ.

Пусть гальваническій токъ идетъ по неподвижному проводнику ab (фиг. 406), а вблизи его, въ подвижномъ проводникѣ cd, проходитъ другой токъ.

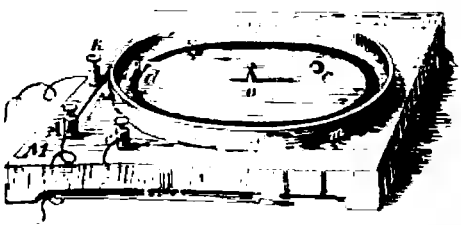


Фиг. 405.



Фиг. 406.

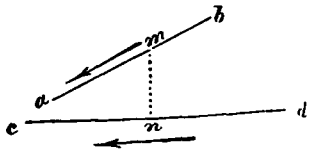
перпендикулярный къ первому; тогда подвижной проводникъ начинаетъ двигаться вдоль неподвижнаго. Предположимъ напримѣръ, что токъ въ подвижномъ проводникѣ приближается къ неподвижному, какъ это показано на фигурѣ, и пусть md изображаетъ кратчайшее разстояніе токовъ; тогда всѣ частицы проводника mb притягиваются къ dc, потому что оба тока приближаются къ кратчайшему разстоянію; равнодѣйствующая сила всѣхъ этихъ притяженій будетъ имѣть точку приложенія гдѣ нибудь на проводникѣ въ S, а направленіе ея будетъ Sp. Точно такъ же взаимное отталкиваніе ma и dc дастъ другую равнодѣйствующую, дѣйствующую въ направленіи отъ точки S къ q. Равнодѣйствующая двухъ послѣднихъ равнодѣйствующихъ заставитъ двигаться проводникъ отъ S къ r, параллельно ab. Отсюда видимъ, что подвижной токъ, приближающійся къ неподвижному, получаетъ движеніе въ сторону, противоположную неподвижному току. Также нетрудно показать, что подвижной токъ, удаляющійся отъ неподвижнаго, двигается по направленію послѣдняго. Чтобы повѣрить эти выводы на опытѣ, въ деревянной доскѣ MN (фиг. 407) дѣлаютъ кольцеобразное углубленіе, въ которое наливаютъ ртути: на остріе o кладутъ мѣдную стрѣлку cd, которой одинъ конецъ d погруженъ во ртуть, а на другомъ c находится противовѣсъ. Углубленіе окружаютъ нѣсколькими оборотами проволоки m, уединенными другъ отъ друга; концы ея прикрѣпляются къ винтамъ A и e. Винтъ e находится въ металлическомъ сообщеніи подъ доской съ остріемъ o. Третій винтъ K соединенъ со ртутью. Винты A и K сообщены съ батареею. Токъ идетъ изъ A въ спираль m, потомъ чрезъ винтъ e въ остріе o, оттуда по стрѣлкѣ cd во ртуть и винтъ K и, наконецъ, въ батарею. Проволока m представляетъ неподвижный токъ, который заставляетъ стрѣлку cd вращаться на остріѣ.



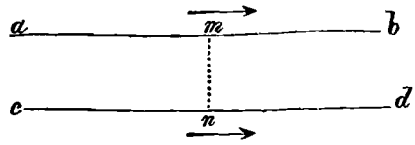
Фиг. 407.

304. Пусть MN (фиг. 408) представляетъ неподвижный токъ, а $abcd$,

подвижной, вращающійся около оси ZZ. Послѣдній будетъ въ устойчивомъ равновѣсіи только въ томъ случаѣ, когда часть его cd, ближайшая къ неподвижному току MN, параллельна и имѣетъ одинаковое съ нимъ направленіе, потому что, на основаніи предыдущаго [303], токъ ad стремится двигаться

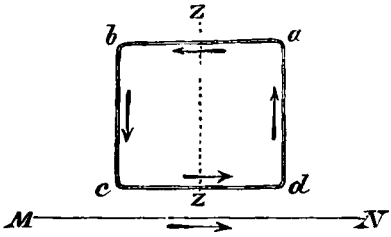


Фиг. 403.

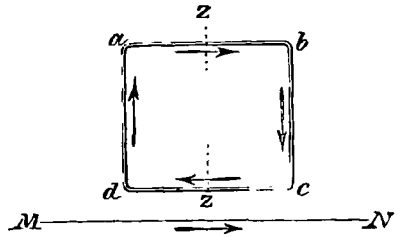


Фиг. 404.

по направленію тока MN, bc — въ противоположную сторону. Если отклонимъ токъ $abcd$ отъ этого положенія равновѣсія въ ту или другую сторону, то онъ возвратится въ то же самое положеніе. Если же ближайшій токъ dc (фиг. 409) имѣетъ противоположное направленіе съ MN, то равновѣсіе бу-

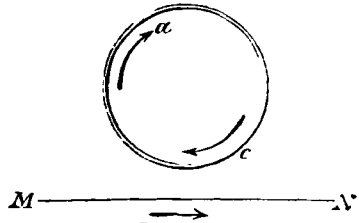


Фиг. 408.



Фиг. 409.

детъ неустойчивое, потому что токъ ad стремится двигаться отъ M къ N, а bc наоборотъ. — Тѣ же условія равновѣсія должны сохраниться, если проводникъ имѣетъ какой угодно видъ, наприм. окружности ac (фиг. 410): въ ближайшихъ точкахъ проводниковъ токи, въ случаѣ устойчиваго равновѣсія, должны имѣть одно и то же направленіе. Все это можно повѣрить на снарядѣ, изображенномъ на фигурѣ 401, располагая подъ прямоугольникомъ $abcd$ неподвижный токъ.

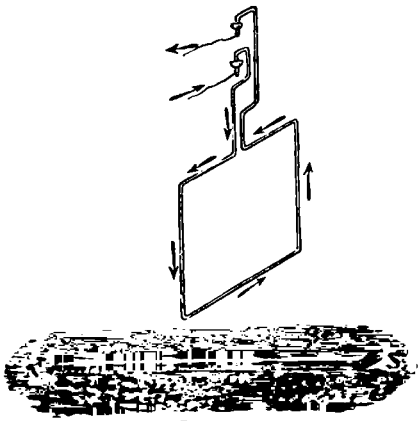


Фиг. 410.

— 305. Для усиленія взаимнаго дѣйствія токовъ, употребляются *соленоиды* (фиг. 411) ab и cd, то есть спирально согнутыя проволоки. Одинъ изъ нихъ ab навѣшивается на стойки (фиг. 401), другой cd (фиг. 411) можно, держа въ рукѣ, приближать къ какой нибудь точкѣ перваго.— Соленоиды дѣйствуютъ подобно магнитамъ: одни концы ихъ взаимно отталкиваются, другіе притягиваются; первое будетъ, когда токи имѣютъ одно и тоже направленіе, второе— если направленія противоположны.

306. Между магнитами и токами замѣчается взаимное дѣйствіе, состоящее въ притяженіи, или отталкиваніи. Въ этомъ, между прочимъ, убѣждаетъ насъ опытъ Эрштедта [274], гдѣ магнитная стрѣлка подъ вліяніемъ тока уклоняется отъ магнитнаго меридіана. Обратно, подъ вліяніемъ магнита,

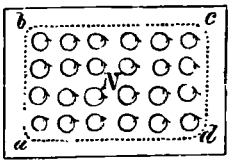
подвижной токъ принимаетъ опредѣленное положеніе въ пространствѣ. Для доказательства кладутъ магнитъ горизонтально подъ проволочный прямоугольникъ *abcd* (фиг. 401), содержащій токъ и навѣшенный на стойки. Тогда токъ *abcd* принимаетъ такое положеніе, что его плоскость перпендикулярна къ оси магнита *NS* (фиг. 412). Приближая магнитъ къ разнымъ частямъ подвижного проводника, мы замѣчаемъ притяженіе, или отталкиваніе.—Наибольшее дѣйствіе обнаруживается между магнитами и соленоидами. Если токъ въ обращенномъ къ намъ концѣ соленоида идетъ по направленію часовой стрѣлки, то этотъ конецъ притягивается сѣвернымъ полюсомъ магнита и отталкивается южнымъ, а другой конецъ, гдѣ токъ имѣетъ движеніе обратное, притягивается южнымъ полюсомъ и отталкивается сѣвернымъ. — Подвижной прямоугольникъ *abcd* (фиг. 401), подъ вліяніемъ земного магнитизма, располагается такъ, что его плоскость перпендикулярна къ магнитному меридіану. Если, вмѣсто прямоугольника, повѣсить соленоидъ (фиг. 411), то ось его *ab* располагается параллельно стрѣлкѣ склоненія.



Фиг. 412.

307. Теорія магнитизма Ампера. Взаимное дѣйствіе соленоидовъ и магнитовъ привело Ампера къ гипотезѣ о сущности магнитизма. Вотъ въ чемъ она заключается.

1) Каждая частица магнита окружена чрезвычайно малымъ круговымъ токомъ, котораго плоскость перпендикулярна къ оси магнита. Всѣ токи имѣютъ одно и то же направленіе, что и показано на фигурѣ 413, изображающей сѣченіе магнита, перпендикулярное къ его длинѣ. Наружное дѣйствіе этихъ токовъ можно замѣнить дѣйствіемъ только одного равнодѣйствующаго тока *abcd*, находящагося внутри магнита, на нѣкоторомъ разстояніи отъ поверхности. Въ южномъ полюсѣ магнита токи имѣютъ направленіе часовой стрѣлки, въ сѣверномъ—обратное.



Фиг. 413.

2) Амперовы токи находятся также и въ ненамагниченной стали и желѣзѣ, но тамъ они имѣютъ всевозможное относительное положеніе, и потому не производятъ никакого наружнаго дѣйствія.

Помощію этой гипотезы объясняются всѣ явленія магнитизма и взаимное дѣйствіе токовъ и магнитовъ. Разсмотримъ главнѣйшія.

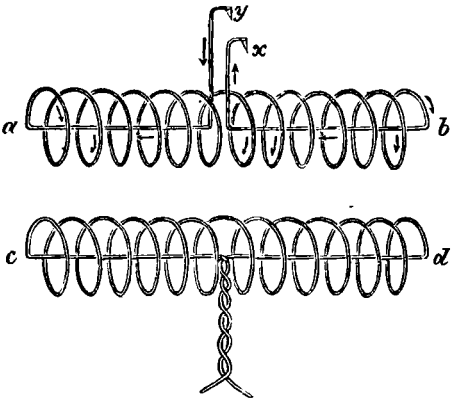
Если желѣзный стержень обмотаемъ спирально проволокой и пропустимъ по ней токъ, то послѣдній повернетъ амперовы токи желѣза въ такое положеніе, что они примутъ направленіе, параллельное съ гальваническимъ токомъ или перпендикулярное къ оси спирали, и желѣзо сдѣлается магнитомъ. По прекращеніи тока, амперовы токи снова возвращаются въ прежнее положеніе, и желѣзо теряетъ магнитизмъ. Въ закаленной стали надо допустить существованіе задерживательной силы, которая препятствуетъ токамъ поворачиваться;

отъ этого, сталь труднѣе намагничивается, чѣмъ желѣзо, но зато сохраняетъ свой магнитизмъ по прекращеніи тока.

Дѣйствіе магнита на желѣзо, или сталь также легко объясняется: магнитъ возбуждаетъ въ нихъ магнитизмъ чрезъ поворачиваніе амперовыхъ токовъ.

Для объясненія дѣйствія земного шара на токи, допускаютъ въ землѣ существованіе гальваническихъ круговыхъ токовъ, которыхъ равнодѣйствующій токъ лежитъ вблизи экватора и имѣетъ направленіе суточнаго движенія небеснаго свода, т. е. съ востока на западъ.

Экваторіальный токъ земного шара можно разсматривать какъ неподвижный токъ, въ отношеніи котораго всякій подвижной токъ *abcd* (фиг. 408) долженъ принять такое положеніе, чтобъ въ нижнихъ точкахъ направленіе его было съ востока на западъ. Поэтому, плоскость подвижного тока и ось подвижного соленоида, вращающихся на вертикальной оси, при равновѣсіи, первая перпендикулярна, вторая параллельна магнитному меридіану.



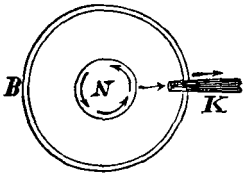
Фиг. 411.

Магнитная стрѣлка, подъ вліяніемъ земного тока, должна расположиться такимъ образомъ, чтобы на нижней сторонѣ ея амперовы токи имѣли направленіе съ востока на западъ. Это возможно только въ томъ случаѣ, когда сѣверный конецъ стрѣлки направленъ къ сѣверу.

Въ опытѣ Эрштедта магнитная стрѣлка находится подъ вліяніемъ двухъ силъ: земного магнитизма и отклоняющей силы оборотовъ, которая стремится поставить амперовы токи стрѣлки параллельно направленію гальваническаго тока. Отсюда ясно, почему въ мультипликаторѣ, когда обороты совпадаютъ съ магнитнымъ меридіаномъ, стрѣлка не можетъ отклониться при дѣйствіи тока болѣе какъ на 90°, и почему токи, перпендикулярные къ магнитному меридіану и параллельные амперовымъ токамъ магнитной стрѣлки, не измѣняютъ положенія стрѣлки.

Явленія взаимодѣйствія токовъ и магнитовъ весьма разнообразны, но всѣ они вполнѣ удовлетворительно объясняются гипотезой Ампера. Для примѣра разберемъ слѣдующій опытъ. Въ сосудъ *B* (фиг. 414) со ртутью опускаютъ магнитъ *ab* съ платиновою на концѣ чашечкой *a*, въ которую наливаютъ ртути; такъ какъ сталь легче ртути, то магнитъ плаваетъ, а прикрѣпленный къ нему кусокъ платины *b* удерживаетъ его въ отвѣсномъ положеніи. Въ чашечку *a* опускается остріе штифта *c*, придѣланнаго къ стойкѣ *A*; остріе другого штифта, погруженное во ртуть сосуда *B*, соединяется, посредствомъ прута *K*, съ стойкой *D*. Чрезъ стойки *A* и *D* пропускаютъ токъ по направленію, показанному стрѣлками; онъ входитъ въ стойку *A*, потомъ въ остріе *c*, въ чашечку *a* и магнитъ, далѣе идетъ по ртути и, наконецъ, чрезъ стойку *D*, воз-

вращается въ батарею. Для ясности вообразимъ горизонтальный разрѣзъ сосуда съ магнитомъ въ увеличенномъ видѣ, и пусть сѣверный полюсъ N обращенъ вверхъ (фиг. 415). Гальваническій токъ представляетъ токъ подвижной [303] въ отношеніи амперовыхъ токовъ магнита, а какъ онъ удаляется отъ послѣднихъ, то долженъ двигаться по ихъ направленію; но онъ имѣетъ постоянное направленіе, а потому самъ магнитъ начинаетъ вращаться около своей оси по направленію, противному амперовымъ токамъ, или по направленію часовой стрѣлки.



Фиг. 415.

Здѣсь гальваническій токъ заставляетъ двигаться подвижной магнитъ; обратно, можно построить приборъ, гдѣ магнитъ будетъ неподвиженъ, а токъ—подвижной. Но всегда между опытомъ и теоріею замѣчается полное согласіе.

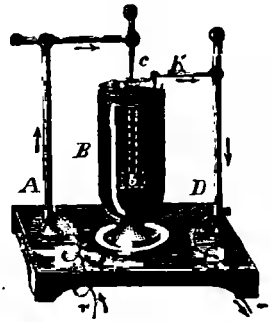
Приложенія электромагнитизма.

308. Электрическіе телеграфы. Важнѣйшее приложеніе гальваническаго тока есть, безъ сомнѣнія, электрическій телеграфъ. Пусть на какой нибудь станціи находится гальваническая батарея A (фиг. 416), отъ которой идутъ двѣ проволоки a и b на другую станцію B, гдѣ онѣ намотаны на электромагнитъ ns. Вблизи электромагнита лежитъ на подставкахъ якорь m, оттягиваемый пружиной t отъ электромагнита; при пропусканіи тока, электромагнитъ преодолѣваетъ сопротивленіе пружины и притягиваетъ якорь m; по прекращеніи тока, пружина снова оторветъ якорь отъ электромагнита. Такимъ образомъ, посредствомъ тока можно сообщать движеніе якорю электромагнита, находящагося на весьма большомъ разстояніи; остается только показать, какъ пользуются этими движеніями для передачи изъ одного мѣста въ другое *депешъ*. Разсмотримъ сначала соединительные проводники.

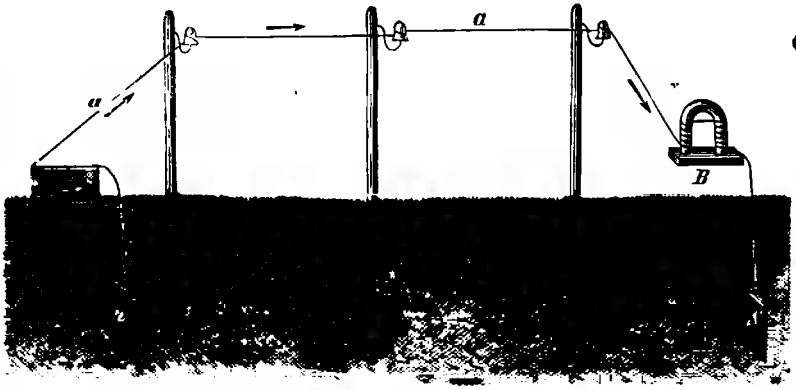
Фиг. 416.

Почти всѣ вещества, составляющія земную кору, представляютъ чрезвычайно большое сопротивленіе гальваническому току, но какъ, при увеличиваніи площади поперечнаго разрѣза проводниковъ, сопротивленіе уменьшается [281], то земля, по причинѣ громадности своихъ размѣровъ, весьма хорошо проводитъ электричество. Отсюда выходитъ: если проводники a и b, соединяющіе станціи A и B, закопать въ землю, то

электричества, текущія изъ батареи A — положительное наприм. по проволокѣ a, отрицательное по b—разсѣются въ землѣ, не достигнувъ станціи B. Для устраненія потери электричества, должно проволоки покрывать, непроводящими электричества, веществами: гуттаперчею, пенькою, смолою; но это увеличиваетъ цѣнность телеграфа. Дешевле проводить проволоку надъ поверхностью земли, укрѣпляя ее на высокихъ деревянныхъ столбахъ и уединяя посредствомъ стеклянныхъ стаканчиковъ (фиг. 417). Притомъ, имѣя въ виду то обстоятельство, что земля весьма хорошо проводитъ электричество, употребляютъ, вмѣсто двухъ проволокъ, только одну a, другую же замѣняетъ земля, въ которую опускаютъ большіе металлическіе листы r и s, соединенные: одинъ r съ батареею, другой s—съ электромагнитомъ. Тогда одно изъ электричествъ, напр. положительное, идетъ изъ батареи A, по проволокѣ a, на станцію B, откуда чрезъ листъ s разсѣивается въ землѣ; одновременно отрицательное электричество удаляется изъ батареи въ землю чрезъ листъ r.



Фиг. 414.



Фиг. 417.

Изъ множества телеграфовъ самый простой и употребительный—телеграфъ Морса.

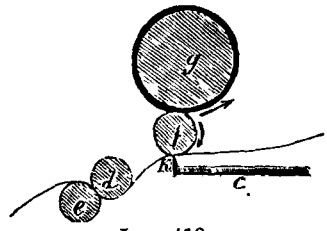
1) *Пишущій приборъ.* Главнѣйшая часть телеграфа Морса есть пишущій приборъ. Онъ состоитъ изъ двухъ электромагнитовъ a (фиг. 418), намагничиваемыхъ съ другой станціи; электромагниты притягиваютъ желѣзную полоску m, которая поворачиваетъ прикрѣпленный къ ней рычагъ около точки c. По прекращеніи тока, пружина n отрываетъ желѣзный стержень m отъ электромагнитовъ. На другомъ кон-

цѣ рычага находится острый винтикъ *b*; когда якорь *m* притягивается къ электромагниту, то винтикъ *b* ударяется въ валикъ *r*, котораго касается другой такой же валикъ *e*; оба валика вращаются въ противныя стороны и приводятся въ такое движеніе часовымъ механизмомъ *M*. Между валиками пропущена полоска бумаги, намотанная на колесо *K*. Часовой механизмъ можно, по произволу, остановить, или пустить въ ходъ. Въ послѣднемъ случаѣ, валики, вращаясь въ разныя стороны, влекутъ полоску бумаги. Когда въ цѣпи есть токъ, то винтикъ налегаетъ на валикъ *r* и оставляетъ на движущейся бумагѣ длинную черту; если же, послѣ замыканія цѣпи, токъ будетъ немедленно прерванъ, то винтикъ, ударившись въ бумагу, тотчасъ отскочитъ, оставивъ на ней короткую черту. Такимъ образомъ, при помощи телеграфа Морса можно передавать короткія и длинныя черточки; сочетаніемъ ихъ изображаютъ буквы и другіе знаки.

а	б	в	г	д	е	ж	з
и	й	к	л	м	н	о	
п	р	с	т	у	ф	х	ц
ч	ш	щ	ъ	ы			
ю	я	ѣ					
1	2	3	4	5			
6	7	8	9	0			
точка	точка съ запятою	запятая	двоеточіе				
вопросительный знакъ	тире						

Телеграфъ Морса подвергался многимъ измѣненіямъ и усовершенствованіямъ. Въ настоящее время знаки на бумагѣ не выдавливаются, но пишутся краской. Съ этою цѣлью, на концѣ рычага *c* (фиг. 419), противоположномъ тому, гдѣ находится якорь, придѣлываютъ, вмѣсто штифта, выдающуюся часть *k*, которая, когда якорь притягивается къ электромагнитамъ, ударяется въ колесо *f*, приводимое въ движеніе часовымъ механизмомъ, подобно валикамъ *d* и *e*, влекущимъ полоску бумаги. Окружность колеса *f* постоянно касается другого колеса *g*, которое покрыто фланелью съ типографской краской и также

вращается, вслѣдствіе тренія о колесо f. Поэтому, колесо f бываетъ постоянно смазано краской. Когда въ цѣпи есть токъ, то на бумагѣ остается черта, длинная или короткая, смотря по продолжительности тока.



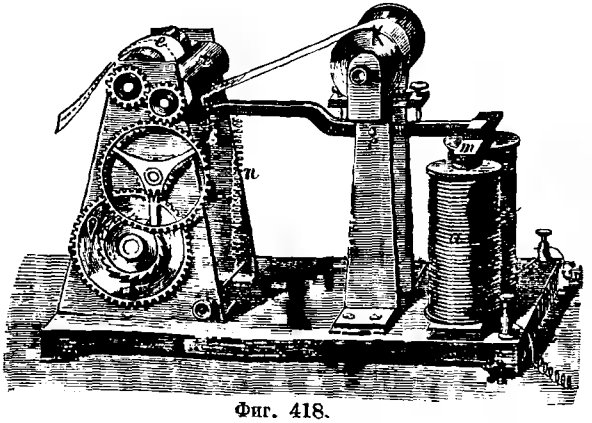
Фиг. 419.

Когда пишущій приборъ не находится въ дѣйствіи, то часовой механизмъ останавливаютъ, опуская между зубцами одного изъ его колесъ подвижную пластинку. При замыканіи цѣпи, якорь ударяется въ электромагнитъ и предупреждаетъ сигналиста о началѣ депеши; тогда часовой механизмъ пускаютъ въ ходъ. Есть приборы, въ которыхъ задерживающая пластинка принимается самимъ гальваническимъ токомъ, безъ посторонней помощи, и остается поднятою во все время корреспонденціи.

2) *Клавиша.* Чтобы удобнѣе было замыкать и размыкать цѣпь, употребляется особый приборъ, называемый *клавишею.* Онъ состоитъ изъ металлическаго стержня a (фиг. 420), вращающагося на оси c, утвержденной на деревянной доскѣ b. Въ обыкновенномъ положеніи, рычагъ придавливается пружиною s къ металлической пуговкѣ p, сообщенной съ пишущимъ приборомъ того мѣста, гдѣ находится клавиша; ось c соединена проволокою съ другою станціею; наконецъ, пуговка q сообщена съ батареею. Если надавить рукою на рычагъ, то онъ придетъ въ соприкосновеніе съ пуговкою q, и цѣпь замкнется; если потомъ отнимемъ руку, то рычагъ будетъ приведенъ пружиною s въ нормальное состояніе, и токъ прекратится.

Фиг. 420.

3) *Передача депешъ.* По одной и той же проволокѣ, депеши можно передавать въ оба конца; приборы для этой цѣли располагаютъ слѣдующимъ образомъ. MN (фиг. 421) изображаетъ поверхность земли, A и B—батареи C и D — пишущіе приборы, E и F—клавиши, a—проволоку, соединяющую оси клавишей, m, p, n, r, s, t, b и c—соединительныя проволоки, P и Q—металлическіе листы. Въ положеніи клавишей, показанномъ на фигурѣ, цѣпь не замкнута, и слѣдовательно, тока нѣтъ; если же нажмемъ на клавишу E, то цѣпь батареи A замкнется, и токъ пойдетъ по проволокѣ m въ пуговку клавиши, оттуда по рычагу въ проволоку a, рычагъ другой клавиши, проволоки s и t, пишущій приборъ D, проволоку c и, чрезъ листъ Q, въ землю; отрицательное электричество также будетъ уходить въ землю, чрезъ проволоку p, пишущій приборъ C, проволоку b и листъ P.



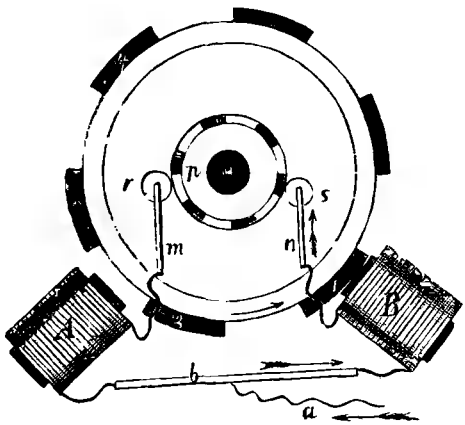
Фиг. 418.

*

Подобнымъ же образомъ передаются депеши и съ другой станціи.

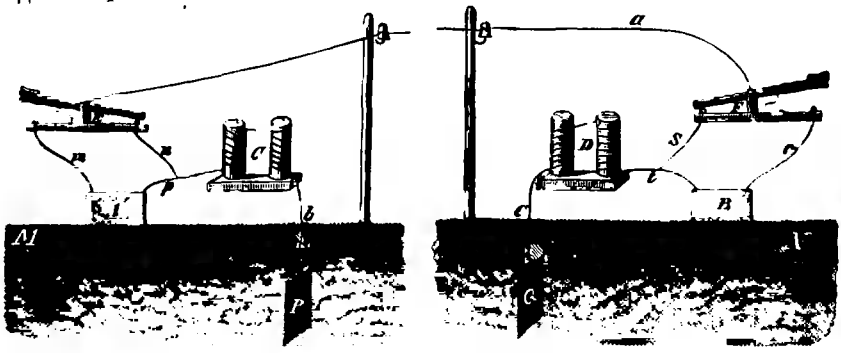
Кромѣ телеграфа Морса, есть множество другихъ, болѣе или менѣе годныхъ для практическаго употребленія. Наиболѣе замѣчательны: телеграфъ Юза и телеграфъ Казелли. Въ первомъ депеши отпечатываются на бумагѣ помощію типографскихъ чернилъ, обыкновенными буквами; второй передаетъ копіи съ рукописей съ сохраненіемъ почерка и даже рисунки.

309. Электромагнитныя машины. Весьма большая магнитная сила, развиваемая гальваническимъ токомъ въ желѣзѣ,—сила, которую притомъ можно почти мгновенно уничтожить, или возбудить,—дала возможность устроить, такъ называемыя, электромагнитныя двигательныя машины. Онѣ имѣютъ разнообразное устройство и состоятъ изъ электромагнитовъ, которые приводятъ въ движеніе желѣзныя массы, или другіе электромагниты, а тѣ передаютъ движеніе прочимъ частямъ машины. Фигура 423 изображаетъ одну изъ электромагнитныхъ машинъ простѣйшаго устройства; на фигурѣ 422 представлены, для ясности, только главнѣйшія части той же машины. Двѣ пары электромагнитовъ *A* и *B* дѣйствуютъ на желѣзныя пластинки 1, 2, 3, 4, прикрѣпляемыя къ колесу по его окружности. Гальваническій токъ впускается, попеременно, то въ одну пару электромагнитовъ, то въ другую. Когда середина желѣзной пластинки станетъ противъ середины электромагнита, то токъ въ этомъ электромагнитѣ прекращаютъ и впускаютъ въ другой; отъ этого, колесо принимаетъ вращательное движеніе. На фиг. 422 представлено то мгновеніе, когда токъ идетъ въ электромагнитъ *B*, который тогда притягиваетъ ближайшую къ нему пластинку, именно 1, и заставляетъ вращаться колесо по направленію, показанному стрѣлкой. Когда эта пластинка станетъ противъ электромагнита *B*, то токъ прекращаютъ. Вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости, колесо продолжаетъ вращаться, и когда пластинка 3 будетъ ближе къ электромагниту *A*, чѣмъ пластинка 2, то токъ направляютъ въ этотъ электромагнитъ; послѣдній, получивъ магнитизмъ, притягиваетъ ближайшую къ себѣ пластинку, а именно 3, и заставляетъ вращаться колесо по прежнему направленію. Когда пластинка 3 станетъ противъ электромагнита *A*, токъ



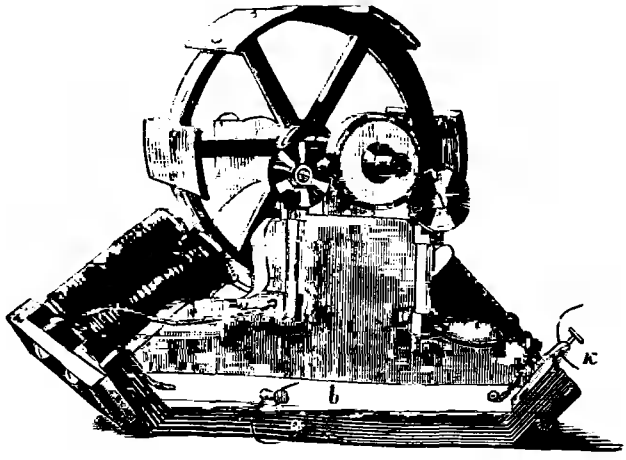
Фиг. 422.

въ этомъ электромагнитѣ прекращаютъ. Спустя нѣсколько времени, когда пластинка 2 будетъ ближе къ электромагниту B, чѣмъ пластинка 1, то токъ впускаютъ въ этотъ электромагнитъ. Когда пластинка 2 станетъ противъ электромагнита B, то токъ здѣсь прекращаютъ, и т. д. Распредѣленіе тока между электромагнитами производится посред-



Фиг. 421.

ствомъ *коммутатора* или *распредѣлителя*. Коммутаторъ состоитъ изъ деревяннаго кружка p, насаженнаго на ось колеса; по окружности его врѣзаны мѣдныя пластинки (онѣ сдѣланы на фигурѣ черными).



Фиг. 423.

Число мѣдныхъ пластинокъ равно числу желѣзныхъ пластинокъ. На кружокъ p налегаютъ съ 2-хъ сторонъ колеса r и s, которыхъ оси утверждены на пружинахъ m и n. При вращеніи оси машины, вращается также кружокъ p, а колеса r и s катятся по его окружности. Проволока a, идущая отъ одного изъ электродовъ батареи, напр. анода, со-

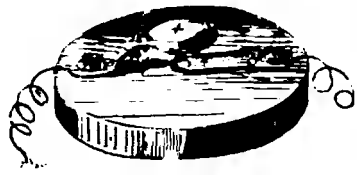
единяется съ металлическою пластинкой b, которой одинъ конецъ соединенъ, чрезъ проволоку электромагнита B, съ пружиной n, а другой конецъ—чрезъ проволоку электромагнита A съ пружиной m. Мѣдныя пластинки, врѣзанныя въ коммутаторъ, соединены металлически съ осью (съ противоположной стороны коммутатора); металлическій станокъ, на который опирается ось, соединяетъ ось съ винтомъ k, въ которому прикрѣпляютъ проволоку, идущую къ электроду батареи. При положеніи распредѣлителя, показанномъ на фигурѣ, колесо r упирается въ дерево, и цѣпь здѣсь разомкнута; колесо s касается металла; поэтому, токъ направляется въ электромагнитъ B, а оттуда чрезъ пружину n, колесо s, ось и винтъ k въ катодъ батареи. Когда пластинка 1 станетъ противъ электромагнита B, то колесо s сойдетъ на дерево, а, спустя нѣсколько времени, колесо r взойдетъ на металлическую часть коммутатора, и токъ побѣжитъ въ электромагнитъ A, потомъ въ пружину m, колесо r, ось и наконецъ въ батарею. Затѣмъ, колесо r снова взойдетъ на дерево, а колесо s—на металлъ, и т. д.—Чтобы токъ не тотчасъ вступалъ въ одинъ электромагнитъ, когда прекращается въ другомъ,—металлическія вставки въ коммутаторѣ дѣлаются уже промежутковъ между ними.

Электромагнитныя двигательныя машины могутъ употребляться во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ и паровыя, но какъ содержаніе ихъ, при одинаковой силѣ съ паровыми, требуютъ болѣе издержекъ, то онѣ имѣютъ весьма ограниченное примѣненіе; можно, однакоже, надѣяться, что съ усовершенствованіемъ гальваническихъ батарей эти машины войдутъ въ большее употребленіе. *)

310. Электрическій звонокъ. На электромагнитизмѣ основано устройство *электрическаго звонка*. Главнѣйшая часть его—электромагнитъ NS (фиг. 424), который укрѣпленъ на деревянной доскѣ AB, повѣшенной на стѣну. Желѣзный якорь h виситъ на гибкой пружинѣ z, привинченной къ металлической стойкѣ b; къ другому концу якоря, на проволокѣ придѣланъ металлическій шарикъ m; пружина z придавливаетъ якорь къ другой пружинѣ r, прикрѣпленной къ стойкѣ c. Винты G и H сообщаются проволоками a и k съ гальванической батареей. Если G — анодъ, а H — катодъ, то токъ изъ G пойдетъ по проволокѣ p въ электромагнитъ, оттуда въ стойку b, якорь h, пружину r, и вернется чрезъ винтъ H и проволоку k въ батарею. Отъ этого, электромагнитъ притянетъ якорь, соприкосновеніе между якоремъ и пружиной r уничтожится, и гальваническая цѣпь разомкнется; тотчасъ же магнитизмъ въ электромагнитѣ пропадетъ, и пружина z снова приведетъ якорь въ прикосновеніе съ пружиной r; чрезъ это, цѣпь замкнется, и якорь снова приблизится къ электромагниту и т. д. Такимъ образомъ, во все время, пока вин-

*) Ниже [317] показано, что электромагнитныя машины, вмѣстѣ съ динамоэлектрическими, могутъ передавать дѣйствія силы на большія разстоянія.

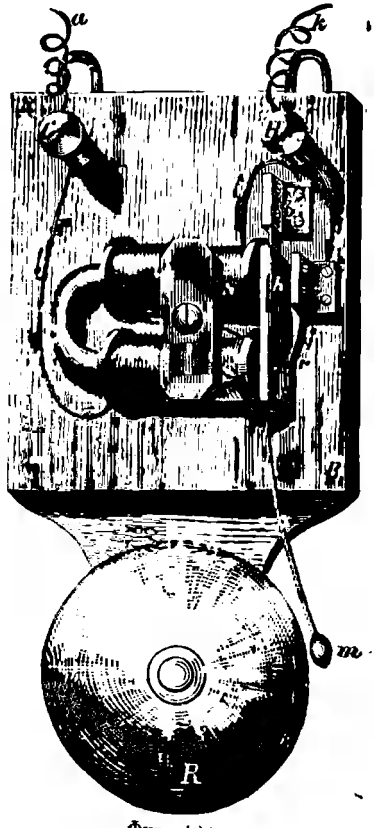
ты G и H сообщены съ батареею, якорь будетъ быстро колебаться, сообщая, помощію шарика m, частые удары колокольчику R.— Приборъ вводятъ въ цѣпь посредствомъ *клавиши* (фиг. 425), которая состоитъ изъ двухъ металлическихъ пластинокъ x и y, утвержденыхъ на деревянномъ кругѣ и не касающихся другъ друга; къ одной изъ нихъ x придѣлана пуговка t изъ слоновой кости. Пластинка x сообщается съ какимъ либо полюсомъ батареи, напр. съ катодомъ, а пластинка y съ проволокой k (фиг. 424) электрическаго звонка; проволоку a должно соединить съ анодомъ. При положеніи пластинокъ x и y клавиши (фиг. 425), показанномъ на фигурѣ, тока нѣтъ, и, слѣдовательно, шарикъ m (фиг. 424) остается въ покоѣ; но какъ только нажмемъ на пуговку t, чтобы пластинка x коснулась пластинки y, то цѣпь замкнется, и колокольчикъ R, получая удары отъ шарика m, издастъ звуки.



Фиг. 425.

Индукція.

311. Въ 1832 году Фарадей открылъ новый способъ возбужденія электрическихъ токовъ, которые онъ назвалъ *индуктированными* или *магнитоэлектрическими* (въ отличіе отъ токовъ, производимыхъ гальваническими батареями и называемыхъ *гидроэлектрическими*), а неизвѣстную причину ихъ—*индукціею* или *магнитоэлектричествомъ*. Индуктированные токи могутъ получить начало при различныхъ обстоятельствахъ, изъ которыхъ наиболѣе важны слѣдующія:



Фиг. 424.

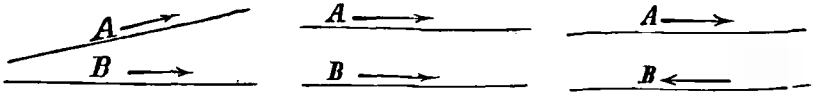
Возбужденіе индуктированнаго тока помощію гальваническаго. Вообразимъ проволоку, свернутую въ плоскую спираль B (фиг. 426) и замыкающую батарею N. Пусть концы другой спирали A соединены съ мультипликаторомъ M. Если станемъ приближать спираль A къ B, или B къ A, то стрѣлка въ мультипликаторѣ отклоняется отъ своего естественнаго положенія, указывая, что въ спирали A есть токъ, котораго направленіе противоположно

току въ B. Возбужденный такимъ образомъ токъ и называется индуктированнымъ; онъ существуетъ только во время движенія проводниковъ A и B и тотчасъ прекращается, когда проводники останавливаются. Проводникъ A, въ которомъ токъ возбуждается, называется *индуктированнымъ*, а проводникъ B, который возбуждаетъ токъ,— *индуктирующимъ*.

Если удалять проводникъ A отъ B, или B отъ A, то въ A также является индуктированный токъ, котораго направленіе одинаково съ токомъ въ B; онъ, подобно предыдущему, существуетъ только при движеніи проводниковъ. Индуктированный токъ одинаковаго направленія съ индуктирующимъ называется *прямымъ*, а противуположнаго направленія—*обратнымъ*. Слѣдовательно, *при удаленіи проводниковъ индуктируется прямой токъ, при сближеніи—обратный.*

Индуктирующему или индуктируемому проводникамъ можно давать весьма разнообразный видъ и сообщать имъ движеніе, не только заключающееся въ приближеніи, или удаленіи, но и какое угодно другое. Отсюда происходитъ множество разнообразныхъ явленій, которыя, къ счастію, сводятся подъ одно правило, предложенное Э. Ленцомъ.

Вообразимъ два тока A и B (фиг. 427). Если одинъ изъ нихъ A подвижной, то онъ, какъ извѣстно, приметъ вообще нѣкоторое движеніе. Поставимъ теперь, вмѣсто гальванической батареи, замыкаемой проводникомъ A, мультипликаторъ и сообщимъ этому проводнику то движеніе, которое онъ имѣлъ сейчасъ; тогда въ немъ возбуждается индуктированный токъ по обратному направленію съ прежнимъ гидроэлектрическимъ токомъ; если же дадимъ проводнику A движеніе обратное, то возбуждаемый въ немъ индуктированный токъ будетъ имѣть то же направленіе, что и гидроэлектрическій. Если бы напр. токи A и B (фиг. 428) были параллельны и имѣли одно направленіе, то токъ A сталъ бы приближаться къ B; когда же сообщимъ замкнутому проводнику A, несодержащему тока, то же движеніе, то въ немъ возбудится индуктированный токъ по противному направленію съ токомъ, который былъ въ A, или, что все равно, съ тѣмъ токомъ, который существуетъ въ B. Чрезъ удаленіе A отъ B, въ первомъ возбуждается токъ по направленію тока въ B. Пусть теперь токи A и B (фиг. 429) параллельны, но противоположны. Они

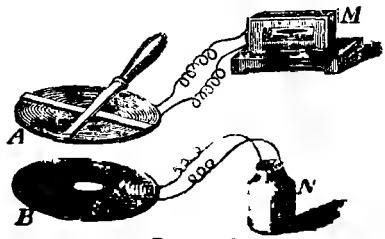


Фиг. 427. Фиг. 428. Фиг. 429.

должны отталкиваться. Если же механически удалять проводникъ A отъ B, то въ A возбуждается токъ по противному направленію съ тѣмъ токомъ, какой былъ сейчасъ въ A, или по направленію тока, существующаго въ B. Когда будемъ приближать A къ B, то возбужденный токъ будетъ имѣть одинаковое направленіе съ токомъ A, или противное съ B. Удаленіе и приближеніе проводника B къ A производитъ тѣ же явленія, что и удаленіе и приближеніе A къ B. Эти выводы, какъ мы видѣли, вполнѣ оправдываются на

приборѣ, изображенномъ на фигурѣ 426, потому что плоскія спирали A и B можно разсматривать какъ параллельные между собою токи.

Возбужденіе и прекращеніе тока въ проводникѣ B (фиг. 426) чрезъ замыканіе и размыканіе цѣпи дѣйствуютъ какъ мгновенное приближеніе и удаленіе этого проводника отъ A; слѣдовательно, при замыканіи цѣпи, въ A долженъ индуктироваться токъ по направленію, противоположному съ B, т. е. обратный, а при размыканіи—по тому же самому направленію, т. е. прямой, что и въ самомъ дѣлѣ наблюдается. Этотъ токъ существуетъ столько времени, сколько нужно, чтобы весь проводникъ B зарядился электричествомъ, а для этого требуется весьма короткій промежутокъ времени, если сопротивленіе проводника B не слишкомъ велико. Сила индуктированнаго тока въ этомъ случаѣ возрастаетъ съ увеличеніемъ силы гальваническаго тока и уменьшеніемъ промежутка времени, потребнаго для размыканія и замыканія цѣпи, и тѣмъ болѣе, чѣмъ менѣе разстояніе между проводниками.

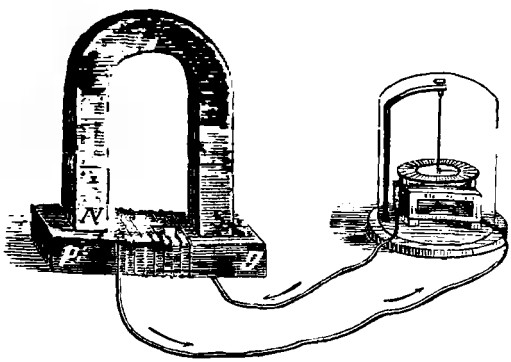


Фиг. 426.

Измѣненіе силы тока въ B также даетъ начало индуктированнымъ токамъ въ A.

Индуктированные токи въ A можно произвести посредствомъ лейденской банки, поставивъ ее на мѣсто батареи N (фиг. 426) и касаясь однимъ концомъ спирали B внѣшней обкладки, а другимъ—внутренней.

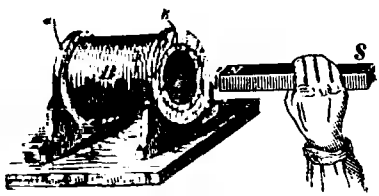
312. Индукція чрезъ магнитизмъ. Представимъ себѣ магнитъ NS (фиг. 430), или электромагнитъ и желѣзный якорь pg, обмотанный проволокой, которой концы соединены съ мультипликаторомъ. Если приближать, или удалять якорь отъ магнита, то въ проволокѣ являются токи, существующіе только въ ту пору, когда двигается якорь. Такимъ образомъ, чрезъ намагничиваніе и размагничиваніе желѣза можно возбуждать индуктированные токи. Токи при намагничиваніи и размагничиваніи другъ другу противоположны.



Фиг. 430.

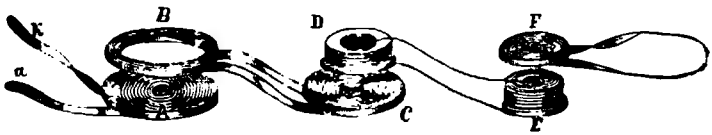
Если обмотать электромагнитъ другою спиралью, то возбужденіе и прекращеніе тока во внутренней спирали индуктируютъ токи во внѣшней спирали. Одновременно съ тѣмъ, совершается намагничиваніе и размагничиваніе желѣзнаго стержня; отъ этого, также индуктируются токи во внѣшней спирали, по тому же направленію, что и первые. Значитъ, индуктированный токъ, получаемый при намагничиваніи желѣза, можно называть обратнымъ, а при уничтоженіи магнитизма — прямымъ. Такимъ образомъ, въ наружной спирали токи происходятъ отъ двухъ причинъ, дѣйствующихъ въ одну сторону, и потому имѣютъ большую напряженность.

Возбужденіе индуктированныхъ токовъ чрезъ магнитизмъ можно подвести подъ общее начало Э. Ленца. Магнитъ, по теоріи Ампера, есть совокупность токовъ, перпендикулярныхъ къ оси магнита, а потому, при перемѣщеніи его вблизи проводника, въ послѣднемъ долженъ индуктироваться токъ. Если концы a и k проволочной спирали B (фиг. 431) соединить съ мультипликаторомъ и вдвигать въ нее магнитъ NS, то въ спирали является токъ по направленію, противоположному амперовымъ токамъ магнита, потому что при сближеніи проводниковъ, изъ которыхъ одинъ содержитъ токъ,—въ другомъ проводникѣ индуктируется обратный токъ [311]. Если выдвигать магнитъ изъ спирали, то индуктированный токъ имѣетъ одинаковое направленіе съ амперовыми токами, потому что при удаленіи проводниковъ другъ отъ друга индуктируется токъ прямой.—При удаленіи якоря pg (фиг. 430) отъ полюсовъ подковообразнаго магнита, въ спирали индуктируется токъ по направленію амперовыхъ токовъ возбужденнаго магнитизма въ якорѣ; если якорь приближать къ магниту, то токи индуктируются въ противоположную сторону. Такъ и слѣдуетъ, потому что при замыканіи цѣпи (возбужденіи тока) индуктируется обратный токъ, а при размыканіи (прекращеніи тока)—прямой.



Фиг. 431.

313. Токи высшихъ порядковъ. Индуктированные токи, возбуждаясь и прекращаясь, могутъ въ свою очередь индуктировать въ прилегающихъ проводникахъ новые токи, которые также возбудятъ токи и т. д. Эти токи называются *токами высшихъ порядковъ*. Вообразимъ рядъ спиралей A, BC, DE и F (фиг. 432). Первая спираль A содержитъ батарею; замыканіе или



Фиг. 432.

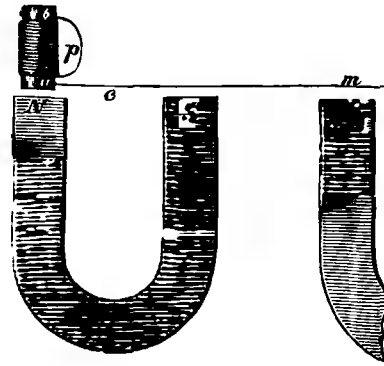
размыканіе цѣпи A индуктируетъ въ спирали BC токъ перваго порядка, который возбуждаетъ въ DE токи второго порядка и т. д. Напряженіе ихъ уменьшается съ возвышеніемъ порядка; впрочемъ, удалось получить токи замѣтной силы до 7-го порядка.

Замыканіе цѣпи въ A возбуждаетъ мгновенный токъ въ BC по противному направленію; этотъ индуктируетъ два тока въ DE, при своемъ возбужденіи и прекращеніи; два тока спирали DE индуктируютъ 4 въ F. Размыканіе цѣпи въ A также даетъ одинъ токъ въ BC, два въ DE и 4 въ F, но которые имѣютъ противоположныя направленія съ предыдущими.

Возбужденіе и прекращеніе тока въ одной части проводника индуктируютъ токи въ прочихъ частяхъ того же самого проводника: въ первомъ случаѣ—по противному направленію, во второмъ—по направленію первоначальнаго тока. Индуктированный токъ, возбужденный въ самой цѣпи при замыканіи ея, индуктируетъ токи второго порядка; токи второго порядка возбуждаютъ токи третьяго порядка и т. д. При размыканіи цѣпи происходитъ подобное же явленіе; только индуктированные токи будутъ имѣть обратное направленіе. Всѣ эти индуктированные токи даютъ равнодѣйствующій токъ, который, смотря по своему направленію, ослабляетъ, или усиливаетъ гальваническій токъ въ моментъ замыканія и размыканія цѣпи. Ослабленіе всегда имѣетъ мѣсто при замыканіи цѣпи, усиливаніе—при размыканіи. Этимъ объясняется, почему искра бываетъ сильнѣе во второмъ случаѣ, нежели въ первомъ, а также то обстоятельство, что искра бываетъ блестящѣе, если въ цѣпь введена длинная проволока, особенно, когда она свернута въ видѣ спирали, потому что тогда въ бо́льшемъ числѣ точекъ проводника индуктируется токъ; въ случаѣ же спирали, эти точки, кромѣ того, одна къ другой ближе. По той же причинѣ ощущается энергическое дѣйствіе на нашъ организмъ при размыканіи цѣпи, даже въ случаѣ небольшого числа элементовъ, если въ цѣпи находится сильный электромагнитъ.

314. Для произведенія болѣе или менѣе сильныхъ индуктированныхъ токовъ, употребляютъ такъ называемые *магнитоэлектрическіе* приборы; они основаны на намагничиваніи и размагничиваніи желѣза помощію магнитовъ, или гальваническаго тока.

Магнитоэлектрическая машина Штерера. Вообразимъ рядъ подковообразныхъ магнитовъ NS, N_1... (фиг. 433), которыхъ полюсы расположены на прямой линіи, и притомъ такъ, что каждые два рядомъ стоящіе полюса разноименны; пусть по линіи am, параллельной полюсамъ магнитовъ, движется желѣзный цилиндръ ab, обмотанный замкнутымъ проводникомъ p. Въ этомъ цилиндрѣ, когда онъ будетъ расположенъ надъ сѣвернымъ полюсомъ N, возбуждается въ a южный магнитизмъ, а въ b—сѣверный. По мѣрѣ того, какъ цилиндръ подвигается отъ сѣвернаго полюса N къ южному S, южный магнитизмъ въ a ослабѣваетъ, а потому въ спирали будетъ индуктироваться токъ по направленію амперовыхъ токовъ [312] южнаго магнитизма, то-есть по направленію часовой стрѣлки. Когда цилиндръ придетъ въ положеніе c, на середину

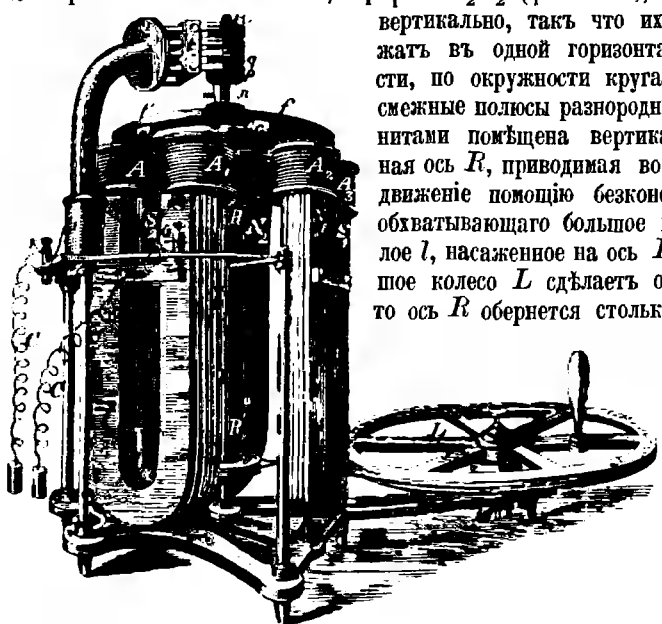


Фиг. 433.

между полюсами N и S, то въ немъ магнитизма никакого не будетъ; при дальнѣйшемъ движеніи, въ a возбудится сѣверный магнитизмъ и будетъ все возрастать, по мѣрѣ приближенія цилиндра ab къ S, а потому въ индуктируемой спирали p явится токъ по направленію, обратному амперовымъ токомъ сѣвернаго магнитизма или по направленію часовой стрѣлки. Итакъ, при перемѣщеніи цилиндра отъ N до S, въ индуктируемой спирали токъ имѣетъ одно и то же направленіе.

Когда цилиндръ станетъ удаляться отъ S къ N_1, то сѣверный магнитизмъ въ a начнетъ ослабѣвать, а потому въ спирали будетъ индуктироваться токъ по направленію амперовыхъ токовъ сѣвернаго магнитизма или по направленію, обратному движенію стрѣлки на часахъ; это направленіе тока сохранится до тѣхъ поръ, пока цилиндръ не достигнетъ точки m. Подобныя сужденія можно употребить и при дальнѣйшемъ перемѣщеніи цилиндра ab, вблизи слѣдующихъ полюсовъ. Такимъ образомъ, при движеніи желѣзнаго цилиндра ab вблизи полюсовъ магнита, въ спирали p индуктируется токъ, котораго направленіе мѣняется каждый разъ, когда цилиндръ проходитъ чрезъ полюсъ магнита. Наибольшая сила тока будетъ во время наибольшаго измѣненія магнитизма, когда желѣзный цилиндръ достигаетъ середины между полюсами, какъ напр. въ c; индуктированный токъ совершенно прекращается, когда цилиндръ проходитъ надъ полюсами, потому что тогда магнитизмъ въ цилиндрѣ, впродолженіе весьма короткаго промежутка времени, не измѣняется.

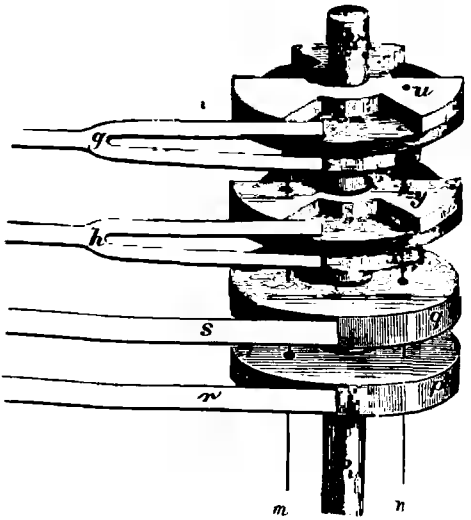
Послѣ этого предварительнаго разсмотрѣнія, уже не трудно понять дѣйствіе магнитоэлектрической машины Штерера. Она состоитъ изъ трехъ подковообразныхъ магнитовъ NS, N_1S_1 и N_2S_2 (фиг. 434), поставленныхъ вертикально, такъ что ихъ полюсы лежатъ въ одной горизонтальной плоскости, по окружности круга; каждые два смежные полюсы разнородны. Между магнитами помѣщена вертикальная желѣзная ось R, приводимая во вращательное движеніе помощію безконечнаго снурка, обхватывающаго большое колесо L и малое l, насаженное на ось R. Когда большое колесо L сдѣлаетъ одинъ оборотъ, то ось R обернется столько разъ, сколько радіусъ колеса l заключается въ радіусѣ колеса L. На вертикальной оси R укрѣплено желѣзное кольцо cc, къ которому придѣланы шесть желѣзныхъ цилиндровъ $A, A_1, \ldots$, обмотанныхъ спирально проволоками. При вращеніи оси, эти



Фиг. 434.

цилиндры, проходя вблизи магнитныхъ полюсовъ, намагничиваются; отъ этого, въ спиралахъ индуктируются токи, которыхъ направленіе перемѣняется шесть разъ при одномъ оборотѣ оси. Возбужденные токи проводятся по проводникамъ m и n въ два металлическіе кружка p и q, изображенные на фигурѣ 435 въ увеличенномъ размѣрѣ; кружки прикрѣплены къ оси R и уединены отъ нея посредствомъ непроводника электричества; проволока m также уединена отъ нижняго кружка. Изъ кружковъ p и q токи идутъ въ двѣ упругія пластинки r и s, укрѣпленныя на неподвижномъ станкѣ и соединенныясъ винтами a и k. Каждый изъ кружковъ p и q можетъ быть анодомъ и катодомъ индуктированнаго тока, смотря по его направленію. Если кружокъ p есть анодъ, то индуктированный токъ идетъ по проволокѣ n въ кружокъ p, оттуда въ пластинку r и винтъ a, а потомъ по проводникамъ C, винту k, пластинкѣ s, кружку q и проволокѣ m возвращается въ спираль. Когда анодомъ дѣлается кружокъ q, то токъ имѣетъ противоположное направленіе.

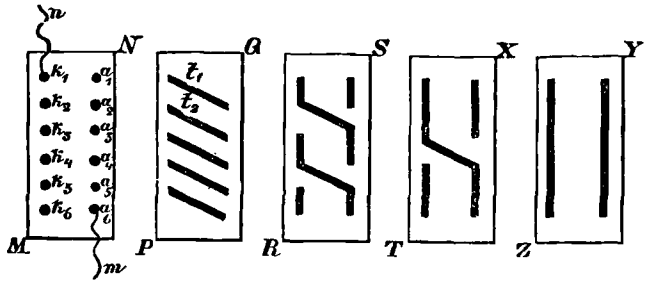
Токамъ можно дать одно направленіе, но тогда къ оси нужно присоединить коммутаторъ, который бы 6 разъ, при одномъ оборотѣ оси, перемѣнялъ направленіе тока. Коммутаторъ въ машинѣ Штерера состоитъ изъ четырехъ пластинокъ: x, y, z и u, изъ которыхъ каждая имѣетъ три возвышенія и три углубленія; онѣ насажены на ось R, уединены другъ отъ друга и отъ оси, и сложены попарно такъ, что углубленіе на одной приходится противъ возвышенія другой. Пластинки соединены проволоками m и n, идущими отъ индуктируемыхъ спиралей; одна проволока m проходитъ чрезъ первую пластинку x, отдѣляясь отъ нея непроводящимъ электричества веществомъ, и соединяется со второю y и третьею z; другая проволока n соединяется съ первою пластинкою x и четвертою y, не касаясь среднихъ. Дѣйствуя двумя изъ четырехъ винтовъ t (фиг. 434), отводятъ пластинки r и s отъ соприкосновенія съ p и q, чтобы уничтожить сообщеніе послѣднихъ съ винтами a и k, и, вращая другіе два винта t, придавливаютъ вилообразныя пластинки h и g къ каждой изъ паръ xy и zu. Эти пластинки установлены такъ, что одно развѣтвленіе стоитъ надъ углубленіемъ, другое касается возвышенія коммутатора. Коммутаторъ располагается такъ, чтобы въ то время, когда желѣзные цилиндры проходятъ надъ полюсами магнитовъ, т. е. когда перемѣняется направленіе индуктированныхъ токовъ, —вилки g и h перескакивали съ одной пластинки на другую: съ x на y и съ z на u, или наоборотъ. Наконецъ, вилообразныя пластинки соединяются съ винтами a и k. Пусть въ нѣкоторое мгновеніе, индуктированный токъ шелъ по проволокѣ n вверхъ; придя въ кружки x и u, онъ можетъ идти далѣе, при положеніи ком-



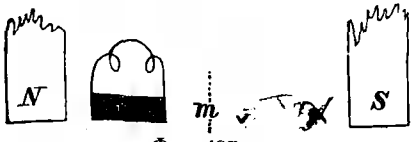
Фиг. 435.

мутатора, показанномъ на фигурѣ 435, только чрезъ вилообразную пластинку h въ проводникъ C, а оттуда въ пластинку g, кружокъ z, и вернется по проволокѣ m въ спираль. Когда желѣзные цилиндры пройдутъ надъ магнитами, то направленіе тока перемѣнится. Токъ пойдетъ теперь вверхъ по проволокѣ m въ кружки y и z. Но вилки h и q касаются уже другихъ пластинокъ коммутатора, именно y и u, а потому токъ изъ кружка y попадетъ въ пластинку h, оттуда въ проводникъ C и возвратится въ спираль чрезъ пластинку g, кружокъ u и проволоку n. Отсюда видно, что направленіе тока въ проводникѣ C остается неизмѣннымъ, между тѣмъ какъ въ проволокахъ m, n и индуктированныхъ спиралях измѣняется.

Спирали можно соединить между собою — подобно гальваническимъ элементамъ — параллельно [285], или ввести въ цѣпь послѣдовательно. Для этого, концы спиралей укрѣпляютъ въ деревянной пластинкѣ NM (фиг. 436) и располагаютъ ихъ въ два ряда: $a_1....a_6$ и $k_1....k_6$; a_1 и k_1 — концы одной спирали, a_2 и k_2 — концы другой спирали и т. д.; a_1, a_2 и т. д. суть одноименные полюсы, т. е. либо онѣ всѣ аноды, либо катоды; то же должно сказать и о концахъ k_1, k_2 и проч. Пусть въ нѣкоторое мгновеніе a_1, a_2,.... a_6 — аноды, а k_1, k_2....k_6 — катоды. Чтобы ввести спирали въ цѣпь, одну за другой, на деревянную пластинку MN накладываютъ другую деревянную PQ, на которой укрѣплены мѣдныя пружины t_1, t_2.... Тогда токъ изъ первой спирали a_1k_1, именно изъ конца a_1, входитъ чрезъ пружину t_1 въ спираль a_2k_2, затѣмъ чрезъ пружину t_2 вступаетъ въ третью спираль a_3k_3 и такъ далѣе, и, наконецъ, чрезъ a_6 выходитъ въ проволоку m (фиг. 435 и 434). Чрезъ проволоку n токъ возвращается въ спираль a_1k_1. Чтобы соединить спирали параллельно по двѣ, на пластинку MN накладываютъ другую, также деревянную пластинку RS, съ инымъ расположеніемъ соединительныхъ пружинъ. Для полученія тройныхъ соединеній приготовляютъ пластинку TX. Наконецъ, пластинка ZY соединяетъ всѣ спирали параллельно. Чтобы удобнѣе было дѣлать всѣ соединенія, деревянная пластинка MN прикрѣпляется къ желѣзному кольцу cc (фиг. 434), а соединительныя пластинки PQ, RS и т. д. — къ мѣдному кругу ff, который можно вращать около оси R; вращая кругъ ff, надвигаютъ одну изъ пластинокъ PQ, RS... на пластинку MN и такимъ образомъ вводятъ въ цѣпь индуктируемыя спирали тѣмъ или другимъ способомъ.



Фиг. 436.

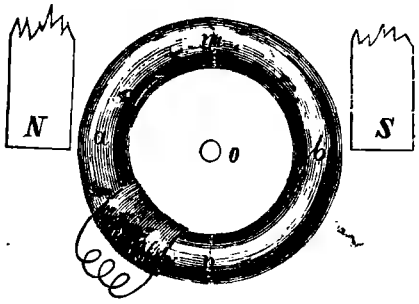


Фиг. 437.

315. Магнитоэлектрическая машина Грамма. Пусть между магнитными полюсами (фиг. 437), сѣвернымъ N и южнымъ S, находится желѣзный стержень ab, обмотанный проволокой; при этомъ на одномъ концѣ

его, въ a окажется свободный южный магнитизмъ, а на другомъ концѣ b—сѣверный. При перемѣщеніи стержня отъ одного полюса N къ другому S, или наоборотъ, степень магнитизма его измѣняется: самый большой магнитизмъ будетъ въ ту пору, когда стержень ab находится у того или другого изъ полюсовъ, а самый малый—когда стержень стоитъ на срединѣ m между полюсами. Предположимъ, что стержень ab находится вблизи полюса N. Станемъ стержень удалять къ другому полюсу S; въ катушкѣ явится токъ по направленію амперовыхъ токовъ желѣза. Когда стержень ab перейдетъ средину m между полюсами N и S, то магнитизмъ его, по мѣрѣ приближенія къ полюсу S, усиливается, и индуктированный токъ перемѣняетъ направленіе. Когда стержень ab дойдетъ до полюса S, повернемъ стержень вмѣстѣ съ катушкой, такъ чтобы конецъ его a сталъ на мѣсто b, а b—на мѣсто a, и станемъ удалять отъ полюса S. Магнитизмъ стержня будетъ ослабѣвать, но индуктированный токъ сохранитъ свое направленіе. Когда стержень ab перейдетъ середину m, направленіе индуктированнаго тока перемѣнится. Продолжаемъ перемѣщать стержень ab по другую сторону m; когда онъ достигнетъ полюса N, перевернемъ его и отодвинемъ назадъ въ m; во все время движенія впередъ (отъ m до N) и назадъ (отъ N до m), индуктированный токъ сохраняетъ свое направленіе. Итакъ, при колебаніи желѣзнаго стержня ab, между полюсами магнита, подъ условіемъ что онъ перевертывается у полюсовъ,—направленіе тока въ катушкѣ перемѣняется, когда она проходитъ чрезъ точку m.

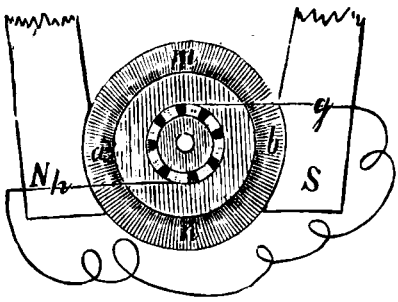
Пусть теперь между магнитными полюсами N и S (фиг. 438) находится желѣзное кольцо $ambn$, вращающееся на оси O. Вмѣстѣ съ кольцомъ вращается также надѣтая на него катушка K. Кольцо будетъ намагничено: половина его nam будетъ содержать свободный южный магнитизмъ, а половина mbn—сѣверный; mn представляетъ безразличный поясъ. Такъ какъ магнитизмъ каждой частицы желѣза при вращеніи кольца измѣняется, то въ катушкѣ K является токъ. При движеніи катушки отъ n чрезъ a до m, въ ней индуктируется токъ постояннаго направленія, потому что, проходя чрезъ a, она какъ-бы перевертывается, подобно катушкѣ ab (фиг. 437): тотъ конецъ ея, который прежде былъ ближе къ полюсу N (фиг. 438), — теперь, когда катушка пройдетъ мимо этого полюса, будетъ дальше отъ того же полюса, чѣмъ другой ея конецъ. При переходѣ катушки чрезъ m направленіе тока мѣняется. При дальнѣйшемъ движеніи отъ m чрезъ b до n, направленіе тока сохраняется; въ точкѣ n снова перемѣняется. И т. д. Такимъ образомъ, при полномъ оборотѣ кольца, направленіе индуктированнаго тока перемѣняется 2 раза,—именно при прохожденіи катушки чрезъ поясъ безразличія. Еслибы кольцо было не магнитное (наприм. изъ дерева), то получились бы индуктированные токи того же направленія, но сила ихъ была бы менѣе.



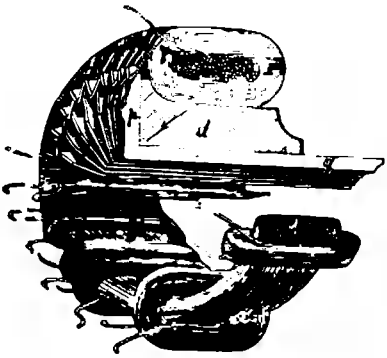
Фиг. 438.

Послѣ этихъ предварительныхъ замѣчаній, не трудно понять и машину

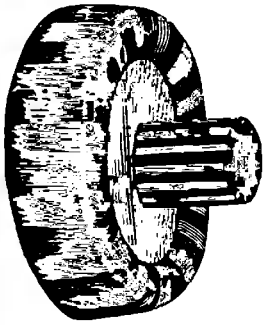
Грамма. Существенныя части ея: магнитная подкова NS (фиг. 439) и желѣзное кольцо, вращающееся между полюсами его, на оси, перпендикулярной къ плоскости магнита. Кольцо по направленію радіусовъ обматывается проволокой. Обмотка состоитъ изъ отдѣльныхъ катушекъ (числомъ отъ 30 до 40), насаженныхъ на кольцо одна подлѣ другой. Фигура 440 представляетъ видъ кольца съ обмоткой, если бы его разрѣзать по направленію оси и отдѣлить одну отъ другой нѣсколько катушекъ. Внутренняя часть его rr не есть сплошная масса желѣза, а состоитъ изъ множества желѣзныхъ проволокъ. Концы проволокъ смежныхъ катушекъ между собою спаяны, такъ что всѣ катушки составляютъ одинъ непрерывный проводникъ. Каждые два спаянные конца припаяны къ особому металлическому наугольнику pq; сколько катушекъ, столько же и наугольниковъ. Наугольники другъ отъ друга уединены, а горизонтальныя ихъ части q располагаютъ на поверхности деревяннаго цилиндра, насаженнаго на ось кольца. Концы ихъ на фигурѣ 439 изображены бѣлыми прямоугольниками. Пространство между кольцомъ и наугольниками задѣлано деревомъ d (фиг. 440). Фигура 441 представляетъ общій видъ колеса съ наугольниками. Если колесо привести въ быстрое вращательное движеніе между полюсами магнита (фиг. 439), то въ отдѣльныхъ катушкахъ развиваются индуктированные токи. Токи въ половинѣ nam обмотки имѣютъ противоположное направленіе съ токами въ другой половинѣ mbn. Такимъ образомъ, обѣ половины обмотки представляютъ какъ-бы два гальваническ элемента, соединенные параллельно въ точкахъ m и n. Если соединить эти точки проводникомъ, то въ немъ получатся индуктированные токи постояннаго направленія. Металлическіе наугольники служатъ именно для того, чтобы воспользоваться этими токами. Для этого, достаточно привести въ прикосновеніе двѣ неподвижныя проволоки g и h съ тѣмъ цилиндромъ, который образуютъ горизонтальныя части наугольниковъ, а другіе концы проволокъ g и h соединить проводникомъ. Наугольники, при вращеніи колеса, попеременно приходятъ въ прикосновеніе съ электродами g и h, и индуктированные токи устремляются въ проводникъ. Чтобы индуктированный токъ не прерывался, электроды составляютъ изъ пучка проволокъ, касающихся разомъ нѣсколькихъ наугольниковъ. — Кольцо $ambn$ приводится въ быстрое вращательное движеніе зубча-



Фиг. 439.



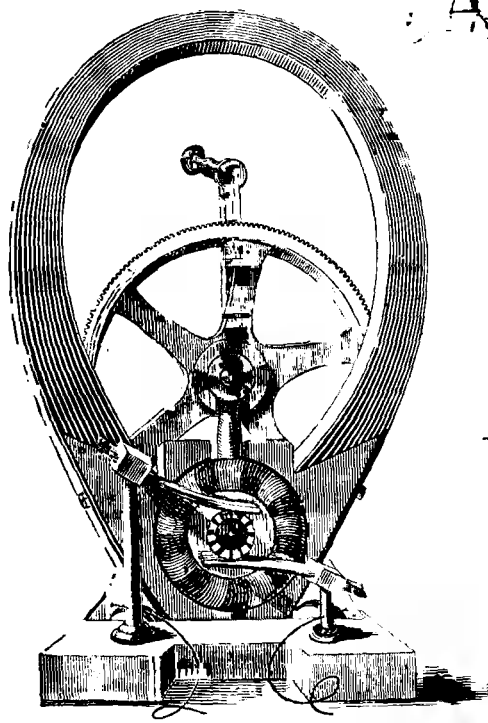
Фиг. 440.


Фиг. 441.

тыми колесами. Такъ какъ для намагничиванія и размагничиванія желѣза требуется нѣкоторое время, то точки безразличія m и n перемѣщаются въ сторону вращенія; въ ту же сторону надо передвинуть точки прикосновенія электродовъ g и h къ наугольникамъ. Фигура 442 представляетъ общій видъ машины Грамма.

Помощію магнитоэлектрическихъ машинъ можно производить тѣ же дѣйствія, что и гальваническими батареями.

При размыканіи цѣпи перескакиваетъ искра. Металлическія проволоки накаливаются. Проходя чрезъ нашъ организмъ, индуктированный токъ производитъ сотрясеніе. Химическія вещества разлагаются. Въ случаѣ воды, на одномъ электродѣ получается кислородъ, а на другомъ — водородъ. Желѣзо подъ вліяніемъ индуктированнаго тока намагничивается, а магнитная стрѣлка уклоняется отъ своего направленія.



Фиг. 442.

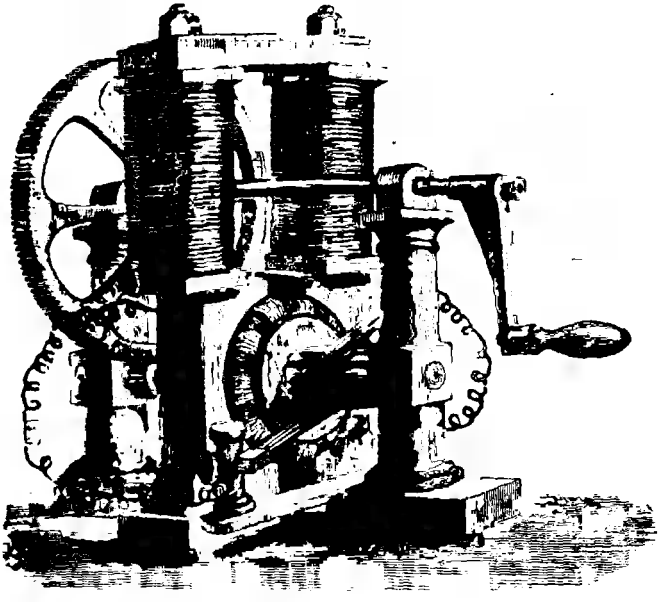
316. Динамоэлектрическая машина. Самый сильный изъ всѣхъ донынѣ изобрѣтенныхъ индуктивныхъ снарядовъ — *динамоэлектрическая машина*; она отличается отъ магнитоэлектрическихъ машинъ тѣмъ, что не имѣетъ магнитовъ, дѣйствуетъ безъ гальваническихъ элементовъ и состоитъ только изъ электромагнитовъ, т. е. изъ желѣза и проволокъ. Мы разсмотримъ динамоэлектрическую машину Грамма, которая по устройству сходна съ его магнитоэлектрической машиной [315]; фигура 443 представляетъ ея дѣйствительный видъ, а 444 — схему. A и B (фиг. 444) — два электромагнита, составляющіе одинъ подковообразный магнитъ, съ желѣзными наконечниками P и Q. ab — полый желѣзный цилиндръ, на который насажены катушки, представляющія одинъ непрерывный проводникъ; спаянные концы смежныхъ катушекъ скрѣплены съ металлическими наугольниками, которыхъ свободные концы образуютъ цилиндръ. Двѣ металлическія кисти g и h налегаютъ на поверхность этого цилиндра. Цилиндрическое желѣзное кольцо ab съ своею обмоткой лежитъ въ полости, образованной наконечниками P и Q. Металлическій столбикъ, на которомъ утверждена щетка g, соединяютъ проводникомъ C съ однимъ изъ концовъ проволоки электромагнита AB; другой конецъ той же проволоки соединяется проволокой C_1 съ другимъ столбикомъ, поддерживающимъ щетку h. Такимъ образомъ, обмотки электромагнита AB и кольца ab составляютъ одинъ непре-

рывный проводникъ. Въ желѣзѣ электромагнитовъ всегда есть небольшое количество магнитизма, возбужденнаго магнитизмомъ земного шара; если бы его не было, то достаточно только однажды, для всѣхъ послѣдующихъ опытовъ, на короткое время впустить гальваническій токъ. Пусть желѣзное кольцо ab съ его обмоткой приведено въ быстрое вращательное движеніе. Подъ вліяніемъ остаточнаго магнитизма желѣзныхъ массъ электромагнитовъ и наконечниковъ,—въ обмоткѣ ab возбуждаются слабые индуктированные токи; пробѣгая по проволокѣ электромагнитовъ, они усиливаютъ магнитизмъ въ желѣзныхъ массахъ. Отъ этого, въ обмоткѣ кольца ab индуктированные токи усиливаются и увеличиваютъ магнитизмъ электромагнитовъ. Съ возрастаніемъ магнитизма, индуктированные токи еще болѣе усиливаются и въ свою очередь увеличиваютъ магнитизмъ. И т. д. Такимъ образомъ, индуктированные токи и магнитизмъ, усиливая другъ друга, достигаютъ весьма большой напряженности. Чтобы воспользоваться этимъ токомъ, надо разорвать одинъ изъ проводниковъ C или C_1 и вставить въ цѣпь то тѣло, чрезъ которое желаемъ пропустить токъ, напр. регуляторъ электрическаго свѣта.—Не должно думать, что динамоэлектрическія машины вырабатываютъ электрическіе токи изъ ничего, безъ всякихъ затратъ; электричество получается чрезъ уничтоженіе механической работы, употребляемой на приведеніе въ движеніе подвижныхъ частей динамоэлектрической машины. Въ самомъ дѣлѣ, если цѣпь разомкнута, то достаточно небольшого усилія, чтобы привести цилиндрическое кольцо ab въ быстрое вращательное движеніе,—потребнаго на преодолѣніе тренія и сопротивленія воздуха, но тогда не развивается ни магнитизма, ни токовъ. Тотчасъ послѣ замыканія цѣпи, усиливается магнитизмъ и взаимное притяженіе желѣзныхъ массъ; сопротивленіе движенію возрастаетъ, такъ что, для сохраненія скорости вращенія, надо приложить несравненно бо́льшую силу. Въ замѣнъ утраченной работы, является индуктивный токъ.

Чтобы усилить дѣйствіе динамоэлектрическихъ машинъ, увеличиваютъ длину кольца ab, такъ что оно принимаетъ видъ длиннаго полаго цилиндра; вмѣстѣ съ тѣмъ, дѣлаютъ шире и электромагниты, которые представляютъ тогда желѣзныя плиты, обвитыя проволокой. Выгодно увеличить и число электромагнитовъ; располагаютъ ихъ въ отношеніи кольца ab различно, и вообще имѣются динамоэлектрическія машины разнаго устройства. Весьма употребительна машина Альтенека-Сименса съ четырьмя электромагнитными полюсами; это—та же машина Грамма и отличается отъ нея только способомъ наматывать проволоку и еще тѣмъ, что, вмѣсто желѣзнаго цилиндра-кольца, ставятъ мѣдное.

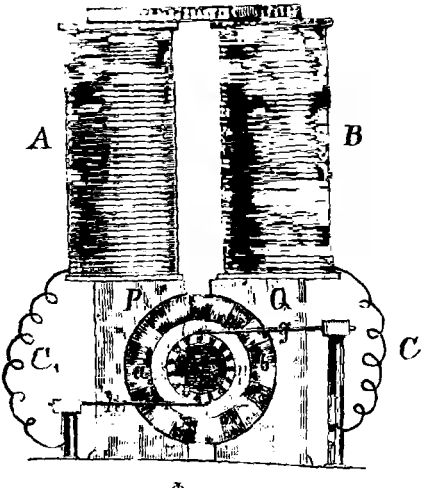
317. Помощію динамоэлектрической машины можно передавать дѣйствіе силы на значительныя разстоянія. Для этого, посредствомъ паровой машины, а также при помощи турбинъ или мельничныхъ колесъ, управляемыхъ паденіемъ воды, приводятъ во вращеніе подвижную часть динамоэлектрической машины. Возбужденное электричество направляютъ по проволокамъ въ электромагнитную двигательную машину, которая должна производить работу. Въ мѣстностяхъ, богатыхъ естественными двигателями, такой способъ передачи дѣйствія силы выгоденъ еще въ томъ отношеніи, что работа получается даромъ, безъ издержекъ на горючій матеріалъ, необходимый для паровой машины. — Динамоэлектрическая машина можетъ служить вмѣсто электромагнитной; для этого, надо разомкнуть проводники C или C_1 и вставить гальваническую батарею. Если двѣ динамоэлектрическія машины соединить проволоками, такъ чтобы всѣ ихъ обмотки составляли одинъ непрерывный провод-

никъ, то, какъ скоро одна изъ нихъ будетъ приведена въ движеніе—и другая начинаетъ двигаться.—Электрическое освѣщеніе Яблочкова [293] получается при помощи сочетанія динамоэлектрической и магнитоэлектрической машинъ особаго устройства. Первая приводится въ движеніе паровой машиной; возбужденные токи постояннаго направленія входятъ въ магнитоэлектрическую машину и возбуждаютъ здѣсь токи перемѣннаго направленія, которые уже дѣйствуютъ на электрическую свѣчку.



Фиг. 443.

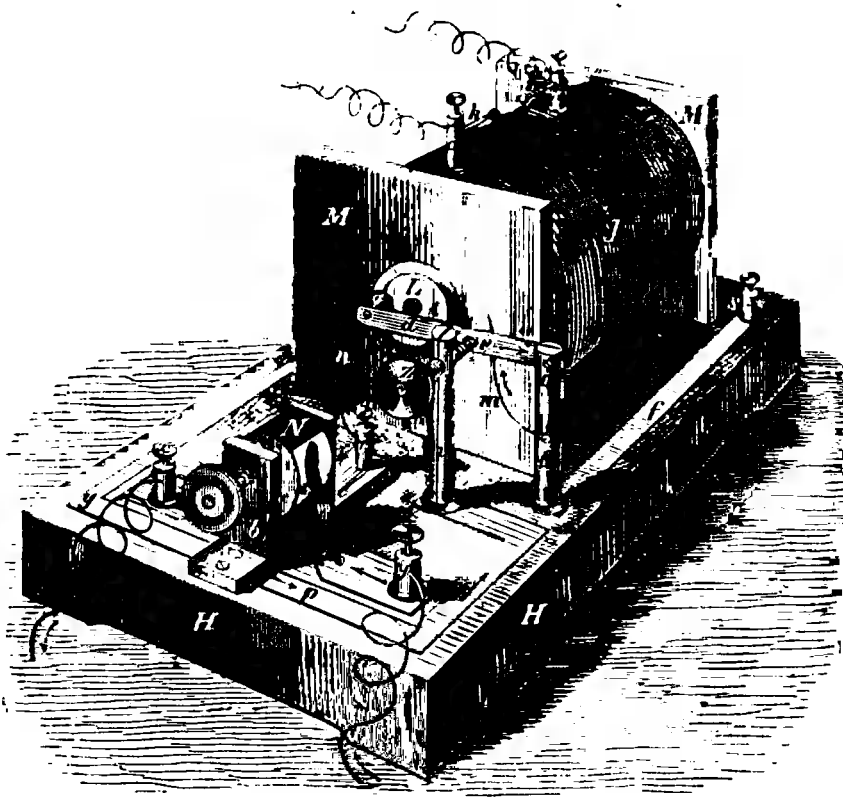
318. Магнитоэлектрическая спираль Румкорфа. Устройство магнитоэлектрической спирали Румкорфа основано на томъ, что прерываніе и возбужденіе гальваническаго тока въ спирали и, вмѣстѣ съ тѣмъ, намагничиваніе и размагничиваніе желѣза индуктируютъ токи въ другой спирали, окружающей первую. Пукъ желѣзныхъ проволокъ L (фиг. 445), обмотанный мѣдной изолированной проволокой, которой концы m и n видны на фигурѣ, образуетъ электромагнитъ; индуктируемая спираль J окружаетъ



Фиг 444.

этотъ электромагнитъ и состоитъ изъ тонкой проволоки, которая имѣетъ нѣсколько тысячъ оборотовъ; концы спирали прикрѣплены къ уединеннымъ мѣднымъ оправамъ a и k; здѣсь скопляется индуктивное электричество. Обороты индуктируемой проволоки должны быть хорошо уединены другъ отъ друга, чтобы возбужденныя электричества не уничтожались внутри самого прибора; спираль съ обѣихъ сторонъ защищена стеклянными или каучуковыми пластинками M.

Замыканіе и размыканіе гидроэлектрической цѣпи производится са-



Фиг. 445.

мимъ приборомъ. Электроды батареи, состоящей изъ небольшого числа элементовъ Бунзена, соединяются помощію винтовъ x и y съ коммутаторомъ Румкорфа N [290]; одинъ конецъ оси коммутатора, посредствомъ стойки c и винта r, сообщенъ съ проволокой n, а другой, чрезъ стойку b, металлическую пластинку p, столбикъ v, винтъ Z, пластинку de и столбикъ t—съ проволокой m. Упругая мѣдная пластинка de, вмѣстѣ съ прикрѣпленнымъ къ ней желѣзнымъ цилиндромъ q, составляетъ существенную часть прибора и называется *мо-*

лоткомъ; она утверждена въ точкѣ O на неподвижномъ столбикѣ t и, вслѣдствіе своей упругости, надавливаетъ на винтъ Z. Предположимъ, что гальваническій токъ изъ коммутатора N входитъ въ стойку b и достигаетъ такимъ образомъ проволоки m; затѣмъ, онъ вступаетъ въ намагничивающую спираль и чрезъ проволоку n возвращается въ коммутаторъ. Тогда желѣзо L намагнитится и притянетъ молотокъ q; отъ этого, пластинка de согнется, отойдетъ отъ винта Z, и цѣпь въ точкѣ e разомкнется; желѣзо L тотчасъ же размагнитится, не будетъ болѣе притягивать молотка q, и пластинка de, по причинѣ своей упругости, снова придетъ въ прикосновеніе съ винтомъ Z; чрезъ это, цѣпь снова замкнется, электромагнитъ опять притянетъ молотокъ, и токъ снова прекратится. Такимъ образомъ, молотокъ будетъ совершать быстрыя колебанія, то замыкая, то размыкая цѣпь. Вслѣдствіе этого, въ спирали J индуктируются токи, которыхъ направленіе безпрестанно мѣняется. Винтъ Z позволяетъ болѣе или менѣе согнуть пластинку, чтобы ускорить, или замедлить движеніе молотка. Такъ какъ искры, являющіяся при размыканіи цѣпи, быстро измѣняютъ легко окисляющіеся въ воздухѣ металлы, то оконечность винта Z дѣлается изъ платины, а на пластинкѣ de врѣзывается платиновый кружокъ e.

Спираль Румкорфа въ томъ видѣ, какъ она описана, дѣйствуетъ не довольно сильно; кромѣ того, оконечность винта Z и пластинка e портятся отъ появляющихся между ними искръ. Причина того—индуктированный токъ, возбуждаемый въ индуктирующей спирали при размыканіи цѣпи. Онъ является въ видѣ искры между кружкомъ e и оконечностью винта Z въ моментъ размыканія цѣпи и увеличиваетъ продолжительность индуктирующаго тока. Чрезъ это, продолжительность прямого наведеннаго тока въ индуктируемой спирали J также увеличивается и, слѣдовательно, напряженность его уменьшается. Чтобы ослабить этотъ недостатокъ, къ прибору присоединяютъ конденсаторъ, который состоитъ изъ двухъ длинныхъ оловянныхъ листовъ, свернутыхъ въ нѣсколько складокъ и положенныхъ въ ящикъ H подъ спиралью. Листы эти уединены другъ отъ друга клеенкой, непроводящей электричества; одинъ изъ нихъ соединенъ съ винтомъ s и помощію пластинки f съ столбикомъ t, а другой—съ винтомъ, находящимся на противоположной сторонѣ спирали J и не показаннымъ на фигурѣ; этотъ винтъ, помощію пластинки g, сообщенъ съ пластинкой p. Дѣйствіе конденсатора заключается въ слѣдующемъ. Разнородныя индуктивныя электричества, возбужденныя въ индуктирующей спирали при размыканіи цѣпи, устремляются въ конденсаторъ; при показанномъ на фигурѣ направленіи гидро-электрическаго тока, отрицательное электричество уходитъ въ конденсаторъ чрезъ пластинку f, а положительное — чрезъ проволоку n, коммутаторъ N, винтъ x, гальваническую батарею, винтъ y, коммутаторъ, стойку b и пластинку g. Отъ этого, продолжительность прямого тока въ спирали J уменьшится, и искра въ e сдѣлается слабѣе. Затѣмъ, прежде, чѣмъ при обратномъ движеніи молотка цѣпь въ точкѣ e будетъ снова замкнута,—элек-

тричества, накопленныя въ конденсаторѣ, соединяются чрезъ индуктирующую спираль, коммутаторъ и батарею; получается мгновенный токъ, котораго направленіе противоположно индуктирующему току; онъ ускоряетъ размагничиваніе желѣзной массы L, такъ что слѣдующій гидроэлектрическій токъ застаетъ желѣзо въ естественномъ состояніи. Сила индуктированнаго тока отъ этого увеличивается, потому что намагничиваніе желѣза измѣняется тогда въ большей мѣрѣ.

Если индуктивныя разноименныя электричества пріобрѣтутъ слишкомъ большое напряженіе, то могутъ соединиться чрезъ изолирующій слой, и тогда спираль сдѣлается слабѣе, потому что часть ея не будетъ болѣе дѣйствовать. Чтобы отвратить такой случай, къ электродамъ a и k придѣлываютъ прутья h съ шариками, между которыми является каждый разъ искра, какъ скоро напряженіе электричества превзойдетъ нѣкоторый предѣлъ.

На электродахъ a и k индуктированной спирали получается сильное напряженіе электричества; при сближеніи концовъ проводниковъ, идущихъ отъ этихъ электродовъ, перескакиваютъ искры, длиною, при благопріятныхъ условіяхъ, до 40 дюймовъ. Приближая руку только къ одному изъ электродовъ, мы получаемъ уже рядъ искръ. Направленіе электричества безпрестанно перемѣняется вмѣстѣ съ движеніемъ молотка q.

Физіологическія дѣйствія необыкновенно сильны, такъ что вводить себя въ цѣпь было бы безразсудно.

Количество индуктированнаго электричества, при прямомъ и обратномъ индуктированныхъ токахъ, между собою равны; если ввести индуктированный токъ спирали Румкорфа въ растворъ мѣднаго купороса, съ помощію мѣдныхъ электродовъ, то не замѣчаемъ разложенія, ибо два послѣдовательные индуктированные тока, разъединяя вещества по противнымъ направленіямъ, освобождаютъ на каждомъ электродѣ попеременно то мѣдь, то прочія составныя части соли, которыя тотчасъ же опять образуютъ мѣдный купоросъ; если, вмѣсто мѣднаго купороса, взять воду, то она разлагается, но на обоихъ электродахъ получаются не отдѣльно кислородъ и водородъ, но смѣщеніе ихъ въ той пропорціи, которая нужна для образованія воды.

Прямой токъ имѣетъ меньшую продолжительность, нежели обратный; поэтому, первый напряженнѣе второго. Въ этотъ убѣждаютъ насъ многія явленія.

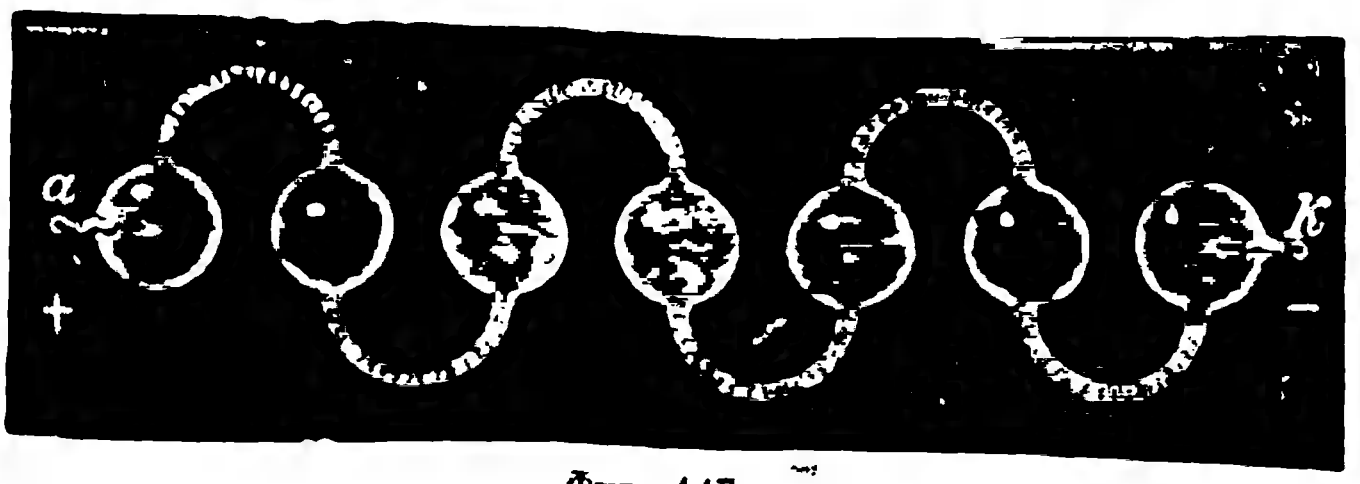
Индуктированный токъ спирали Румкорфа пропускаютъ чрезъ проволоку, намотанную спирально на пластинку изъ закаленной стали. Такъ какъ задерживательная сила препятствуетъ возбужденію магнитизма, то стальная пластинка, не смотря на противоположныя направленія токовъ, намагничивается именно такъ, какъ еслибы дѣйствовали одни прямые токи; значитъ, прямые токи сильнѣе обратныхъ.

Если въ индуктированной цѣпи сдѣлать разрывъ, то разнородныя электричества, появившіяся на концахъ проволокъ, должны будутъ для взаимнаго соединенія преодолѣть сопротивленіе воздуха. При этомъ только части электричествъ переходятъ чрезъ разрывъ, а оставшіяся электричества возвращаются назадъ и уничтожаются въ самой индуктированной спирали. Чѣмъ менѣе

разрывъ и чѣмъ болѣе напряженіе электричествъ, тѣмъ болѣе ихъ проходитъ чрезъ разрывъ и тѣмъ менѣе уничтожается въ спирали. Такъ какъ прямой индуктированный токъ имѣетъ напряженіе большее, чѣмъ обратный, то онъ съ большею легкостью, чѣмъ обратный, преодолѣваетъ сопротивленіе воздуха, раздѣляющаго концы проводниковъ. Поэтому, когда въ цѣпи есть разрывъ,— при прямомъ токѣ пробѣгаетъ больше электричества, чѣмъ при обратномъ. Химическія вещества, введенныя въ цѣпь, въ которой есть разрывъ, разлагаются, и составныя ихъ части появляются у электродовъ. Вода попрежнему даетъ смѣсь газовъ, но на одномъ электродѣ будетъ преобладать водородъ, на другомъ—кислородъ; это преобладаніе будетъ тѣмъ въ большей степени, чѣмъ болѣе промежутокъ между концами проводниковъ. Лейденская банка въ этомъ случаѣ заряжается. Вмѣсто разрыва, въ цѣпь можно ввести проводникъ съ весьма большимъ сопротивленіемъ; при этомъ прямой токъ также въ большей или меньшей степени будетъ преобладать надъ обратнымъ. Если разстояніе между электродами, при химическомъ дѣйствіи индуктированныхъ токовъ, велико, то, хотя бы не было разрыва, также замѣчается преобладаніе прямыхъ токовъ.

Слабый гидроэлектрическій токъ вводятъ въ индуктирующую спираль. Въ желѣзномъ стержнѣ L возбудится такъ мало магнитизма, что молоточекъ не притянется; слѣдовательно, токъ не будетъ прерываться, и въ наружной спирали не будетъ индуктированныхъ токовъ. Если замыкать и размыкать цѣпь съ помощію коммутатора N, получимъ слабые индуктированные токи, которые безопасно можно пропустить чрезъ себя, касаясь руками электродовъ a и k. При каждомъ замыканіи гидроэлектрической цѣпи, мы ощущаемъ толчекъ, который бываетъ сильнѣе при размыканіи, чѣмъ при замыканіи. Для опытовъ этого рода безопаснѣе употреблять слабыя магнитоэлектрическія спирали.

Если пропускать электричество спирали Румкорфа чрезъ разрѣженный газъ, заключенный въ стеклянномъ сосудѣ овальной формы (фиг. 446), то газъ накаливается; цвѣтъ зависитъ отъ вещества газа. Въ продажѣ существуютъ трубки, наполненныя разными разрѣженными газами, называемыя гейслеровыми, по имени изготовлявшаго ихъ механика-артиста Гейслера въ Боннѣ. Эти трубки имѣютъ весьма разнообразный видъ; одна изъ нихъ изображена на фигурѣ 447. Токи вводятся

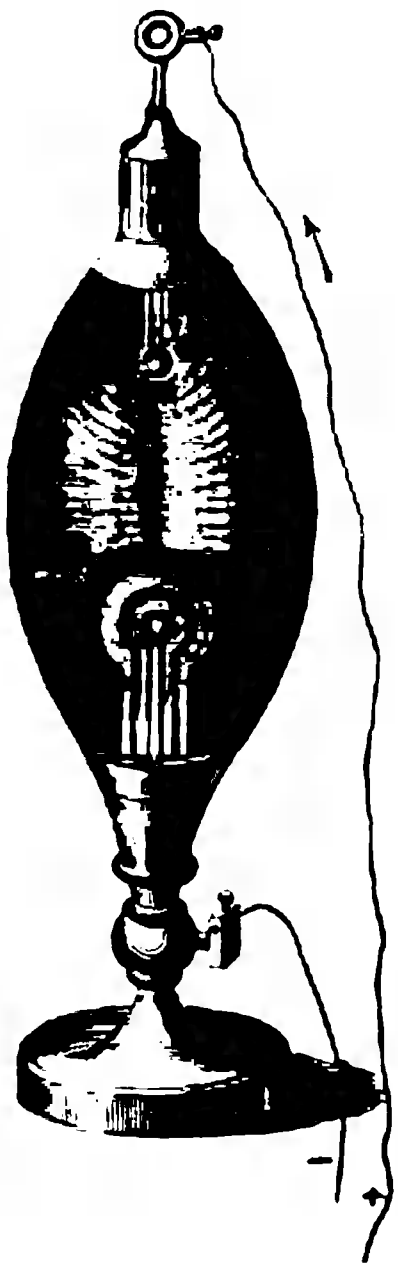


Фиг. 447.

чрезъ платиновыя или алюминіевы проволоки a и k, впаянныя въ стекло.

Видъ явленія зависитъ отъ степени разрѣженія газа. Если гейслерову трубку, еще незапаянную и наполненную какимъ либо газомъ обыкновенной упру-

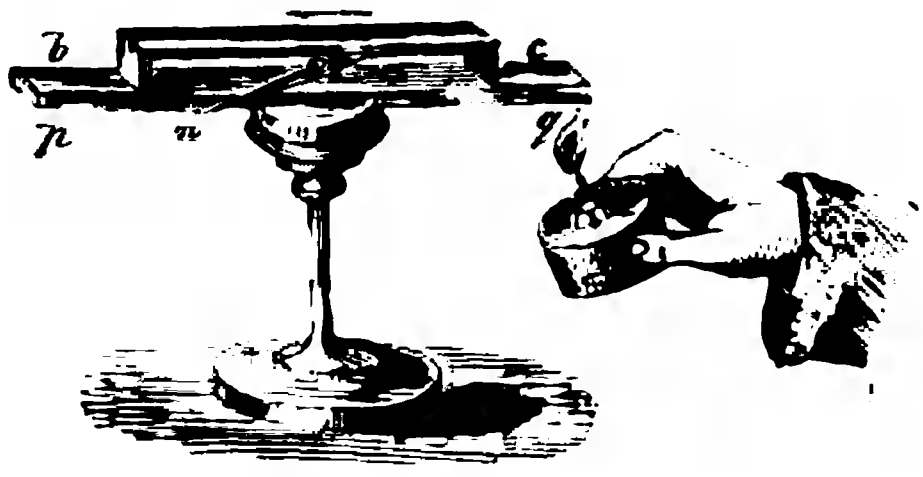
гости, сообщить съ ртутнымъ насосомъ, то, по мѣрѣ разрѣженія газа, наблюдается слѣдующее. При обыкновенной упругости, если разстояніе между электродами довольно велико, не получается никакихъ электрическихъ явленій. При нѣкоторой разрѣженности газа, является тонкая свѣтлая линія, отъ одного электрода до другого. Цвѣтъ ея зависитъ отъ вещества газа. При дальнѣйшемъ разрѣженіи, свѣтлая полоса становится шире, и, наконецъ, вся трубко наполняется непрерывнымъ сіяніемъ. При упругости газа въ 5 — 3 миллим., у одной изъ проволокъ, впаянныхъ въ трубку, именно служащей отрицательнымъ полюсомъ, т. е. такимъ, чрезъ который вытекаетъ болѣе отрицательнаго, чѣмъ положительнаго электричества,—появляется темное пространство, а потомъ идутъ до самого положительнаго полюса свѣтлые колеблющіеся тонкіе слои, перпендикулярные къ направленію тока и перемежающіеся съ темными; слои нѣсколько закривлены, и выпуклость ихъ обращена частію къ отрицательному, частію къ положительному полюсу; онѣ замѣтны на фигурѣ 447, въ узкихъ частяхъ трубки, и въ приборѣ, изображенномъ на фигурѣ 446. Эти явленія можно также получить съ помощью сильной гальванической батареи; Варренъ-де-ля-Рю достигъ блистательныхъ результатовъ, употребляя свою батарею изъ 11000 элементовъ [285]. Если продолжить разрѣженіе газа, то слои свѣта становятся шире и, наконецъ, исчезаютъ; тогда получается одно изъ весьма интересныхъ явленій, открытыхъ Круксомъ въ разрѣженныхъ газахъ: газъ перестаетъ испускать свѣтъ, а стѣнки самой трубки начинаютъ свѣтиться (флуоресцировать) [430]. Наконецъ, при крайней степени разрѣженія, которой достигнуть весьма трудно, сіяніе стекла и вообще всякое электрическое явленіе прекращаются, потому что абсолютная пустота не пропускаетъ электричества [261].



Фиг. 446.

Термоэлектричество.

319. Опытъ Зеебека. Зеебекъ доказалъ, что въ замкнутомъ проводникѣ, составленномъ изъ двухъ разнородныхъ металловъ, является электрическій токъ, если два спая имѣютъ различныя температуры. Для доказательства лучше всего взять висмутъ и сурьму. Двѣ пластинки pq и bc (фиг. 448), сдѣланныя изъ этихъ металловъ, спаиваютъ въ bp и cq такъ, чтобы онѣ образовали замкнутый проводникъ, внутри котораго помѣщаютъ магнитную стрѣлку. Пока оба спая имѣютъ одинаковыя температуры, магнитная стрѣлка остается въ плоскости магнитнаго меридіана; это показываетъ, что въ проводникѣ нѣтъ гальваническаго тока, какъ и слѣдовало



Фиг. 448.

ожидать, ибо не видно причины, почему бы токъ долженъ былъ идти по одному направленію преимущественно предъ другимъ. Но если одинъ изъ спаевъ *cq* нагрѣть, а другой *bp* оставить холоднымъ, то, расположивъ приборъ въ магнитномъ меридіанѣ, замѣтимъ, что сѣверный конецъ *n* стрѣлки отклоняется на западъ. При нагрѣваніи спая *bp*, отклоненіе будетъ восточное. Это несомнѣнно доказываетъ, что въ цѣпи возбужденъ электрическій токъ; въ какомъ мѣстѣ замкнутаго проводника онъ получилъ начало, сказать нельзя, по недостатку данныхъ; равнымъ образомъ наука, при настоящемъ ея развитіи, не въ состояніи разъяснить и причину явленія. Допускаютъ, что эта неизвѣстная причина дѣйствуетъ въ нагрѣтомъ спаѣ; ее называютъ *термоэлектричествомъ*, а приборъ *bcpq*—*термоэлектрическимъ элементомъ*. Пользуясь правиломъ Ампера относительно отклоненія магнитной стрѣлки гальваническимъ токомъ [274], можно заключить, что токъ идетъ изъ нагрѣтаго спая *cq* въ сурьмянную пластинку *cb* и возвращается, чрезъ холодный спай *bq* и висмутъ, въ спай *cq*. Такимъ образомъ, въ нагрѣтомъ спаѣ естественное электричество разлагается: положительное накопляется на сурьмѣ, отрицательное — на висмутѣ; поэтому, сурьму считаютъ электроположительнымъ тѣломъ въ отношеніи висмута, а висмутъ — электроотрицательнымъ относительно сурьмы. Подобно висмуту и сурьмѣ, всѣ другіе металлы представляютъ термоэлектрическія явленія.

320. Законы термоэлектрическаго тока. Направленіе термоэлектрическаго тока и его сила зависятъ отъ рода соприкасающихся металловъ и разности температуръ спаевъ.

Беккерель нашелъ, что, когда одинъ спай имѣетъ температуру 0°, а другой 20°, то всѣ металлы можно расположить въ рядъ, въ которомъ предыдущій металлъ въ отношеніи послѣдующаго электроположителенъ; электровозбудительная сила тѣмъ болѣе, чѣмъ далѣе тѣла отстоятъ другъ отъ друга. Вотъ этотъ рядъ:

+

Сурьма.	Латунь.	Кобальтъ.
Мышьякъ.	Родій.	Палладій.
Желѣзо.	Свинецъ.	Платина.
Цинкъ.	Олово.	Никкель.
Золото.	Серебро.	Висмутъ.
Мѣдь.	Марганецъ.	

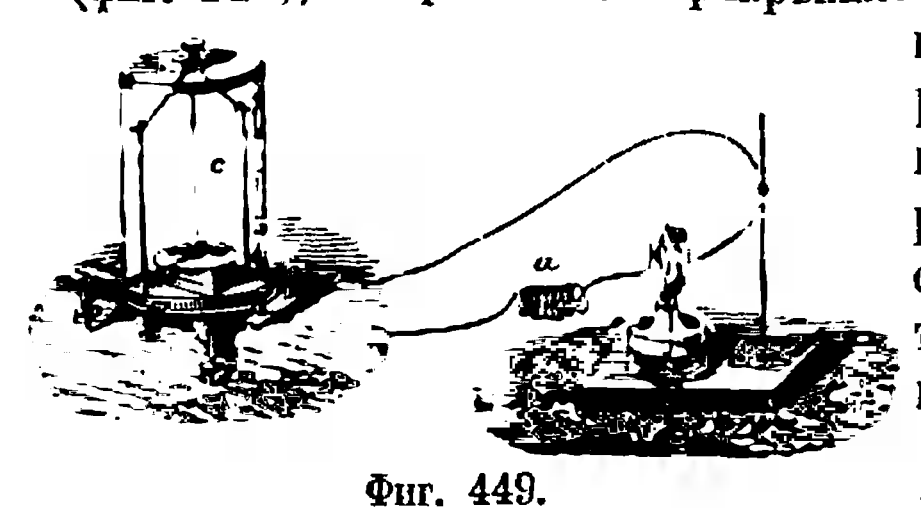
—

Отсюда видимъ, что наибольшая электровозбудительная сила принадлежитъ сурьмѣ и висмуту. Одинъ и тотъ же металлъ можетъ быть и электроположительнымъ, и электроотрицательнымъ, смотря по тому, съ какимъ другимъ металломъ соприкасается; такъ, серебро электроположительно съ платиной и электроотрицательно относительно золота.

Въ упомянутый рядъ металловъ можно включить тѣла неметаллическія (теллуръ), минералы (пиритъ, свинцовый блескъ) и разные сплавы; многія изъ этихъ веществъ представляютъ бо́льшую электровозбудительную силу, чѣмъ висмутъ и сурьма.

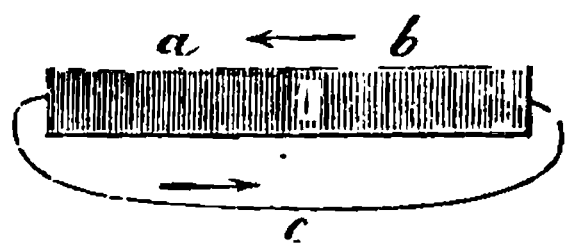
Когда разность температуръ не болѣе 20°, то электровозбудительная сила пропорціональна этой разности; но при дальнѣйшемъ возрастаніи температуры теплаго спая, этотъ законъ оказывается несправедливымъ: электровозбудительная сила иногда не только не увеличивается, но еще уменьшается, уничтожается совершенно и даже перемѣняетъ направленіе.

Термоэлектрическій токъ можетъ происходить не только въ соприкосновеніи разнородныхъ веществъ, но даже въ такомъ случаѣ, когда замкнутый проводникъ состоитъ изъ одного и того же вещества, если есть нѣкоторая разница въ его частяхъ. Такъ напримѣръ, если согнемъ въ видѣ спирали проволоку *a* (фиг. 449), которой концы прикрѣпимъ къ мультипликатору *c*, и станемъ нагрѣвать проводникъ вблизи спирали, то магнитная стрѣлка отклонится. Направленіе тока бываетъ разное для разныхъ металловъ: въ однихъ токъ идетъ отъ нагрѣваемой точки къ спирали, въ другихъ—по противоположному направленію.

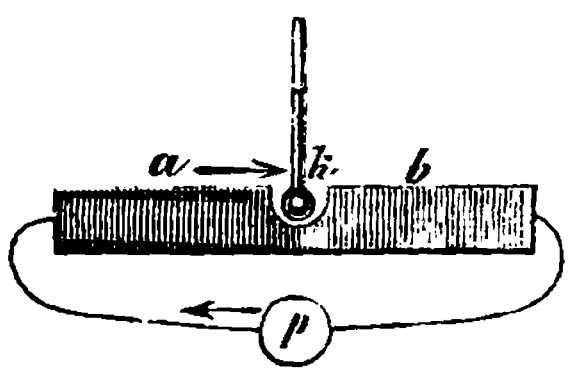


Фиг. 449.

Термоэлектрическія явленія имѣютъ связь съ нагрѣваніемъ помощію гальваническаго тока. Пусть двѣ пластинки *a* и *b* (фиг. 450) изъ разныхъ металловъ, напр. изъ сурьмы *a* и висмута *b*, спаяны между собою и соединены проволокой *c*, чтобы образовался замкнутый проводникъ. При нагрѣваніи спая является термоэлектрическій токъ по направленію, показанному стрѣлкой. Если сообщить концы того же стержня *ab* (фиг. 451), имѣющаго по всей своей массѣ температуру окружающей среды, съ электродами гальванической батареи *p* и пропустить токъ по направленію обратному съ термоэлектрическимъ, который былъ прежде въ стержнѣ *ab*, то наибольшее нагрѣваніе обнаруживается въ мѣстѣ спая. Перемѣнивъ направленіе тока, замѣтимъ, что спай будетъ имѣть температуру ниже, нежели самыя пластинки *a* и *b*. Когда стержень *ab* достаточно толстъ, а токъ довольно слабъ, то замѣтнаго измѣненія въ температурѣ металловъ *a* и *b* не произойдетъ, а въ спаѣ даже будетъ охлажденіе, что можно замѣтить по термометру *k*, который погружаютъ въ углубленіе, сдѣланное въ спаѣ. На этомъ основанъ слѣдующій любопытный опытъ Э. Ленца. Стержень изъ висмута и сурьмы погружаютъ въ тающій снѣгъ, а въ углубленіе спая наливаютъ воды: при пропусканіи тока вода замерзаетъ, не смотря на то, что окружающая среда имѣетъ 0°.



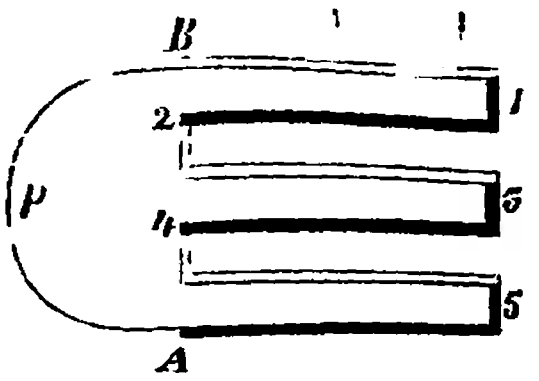
Фиг. 450.



Фиг. 451.

321. Термоэлектрическія батареи. Для усиленія дѣйствія, соединяютъ многіе термоэлектрическіе элементы и получаютъ такъ называемыя *термоэлектрическія батареи*. Приготовивъ большое число пластинокъ изъ сурьмы и висмута, спаиваютъ ихъ такимъ образомъ, какъ показано на фигурѣ 452. Черныя черты изображаютъ сурьму, а двойныя — висмутъ. Въ точкахъ, обозначенныхъ цифрами: 1, 2, 3, 4, 5, находятся спаи. Крайнія пластинки *A* и *B*—сурьмяная и висмутовая — соединены проводникомъ *p*. Спаи 1, 3, 5 — чрезъ одинъ — нагрѣваютъ, а 2, 4 — охлаждаютъ. Каждая пара разнородныхъ пластинокъ даетъ электрическій токъ, пробѣгающій по всѣмъ прочимъ пластинкамъ и проводнику *p*; поэтому, общій токъ будетъ сильнѣе, нежели отъ одного элемента. Въ настоящее время существуетъ не ма-

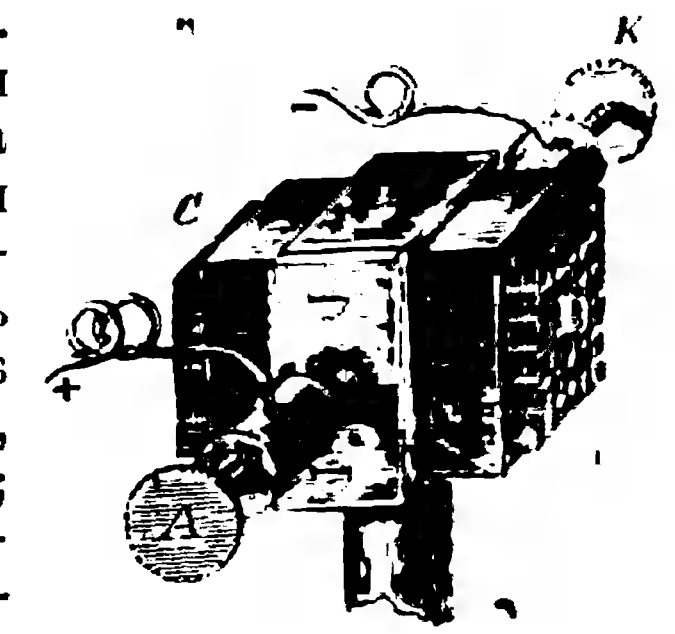
лое количество термоэлектрическихъ батарей, различающихся, какъ веществами, изъ которыхъ онѣ составлены, такъ и расположеніемъ частей. Назовемъ батарею Мура и Кламона, состоящую изъ желѣза и свинцоваго блеска.



Фиг. 452.

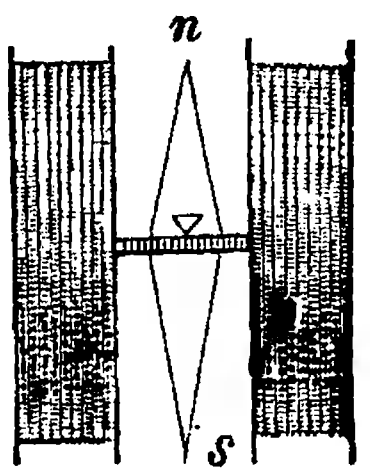
Термоэлектрическій токъ производитъ такія же дѣйствія, какъ и гальваническій, хотя и не столь сильныя. Онъ разлагаетъ воду и другія вещества, отклоняетъ магнитную стрѣлку отъ ея положенія, намагничиваетъ желѣзо, даетъ искру, индуктируетъ новые токи, которые могутъ дѣйствовать на организмъ и проч.

322. Термомультипликаторъ. Употребляя очень малыя сурьмяныя и висмутовыя пластинки, Нобили устроилъ многопарную батарею (фиг. 453), занимающую весьма незначительный объемъ. Элементы вводятъ одинъ за другимъ. Крайнія пластинки, сурьмяная касается винта A, а висмутовая—винта K. Въ D находятся спаи чрезъ одинъ, въ C—всѣ прочіе. Если соединить электроды A и K съ мультипликаторомъ Нобили, то малѣйшая разность въ температурѣ спаевъ, обращенныхъ въ противныя стороны, производитъ отклоненіе магнитной стрѣлки; даже присутствіе человѣческаго тѣла въ разстояніи 30 футовъ можетъ быть замѣчено. Такая совокупность термоэлектрической батареи и мультипликатора называется *термомультипликаторомъ*. Съ этимъ приборомъ были произведены всѣ замѣчательныя изслѣдованія надъ лучистою теплотою.



Фиг. 453.

Найти отношеніе между величинами двухъ токовъ, если первый отклоняетъ магнитную стрѣлку въ гальванометрѣ тангенсъ-буссоль на 17°25′ отъ магнитнаго меридіана, а второй,—на 34°50′, то есть на уголъ вдвое большій.—Опредѣлить силу тока, отклоняющаго магнитную стрѣлку въ гальванометрѣ синусъ-буссоль на 42°28′, принимая токъ, отклоняющій магнитную стрѣлку на 1°, за единицу.—Есть мультипликаторы, въ которыхъ магнитная стрѣлка ns (фиг. 454) стоитъ вертикально и можетъ качаться только въ плоскости, перпендикулярной къ плоскости магнитнаго меридіана, между двумя системами оборотовъ проволоки, параллельныхъ той же плоскости. Разобрать, отъ какихъ условій зависитъ чувствительность такого снаряда.—Имѣется батарея Бунзена въ 60 элементовъ. Требуется составить батарею того же напряженія и того же сопротивленія изъ элементовъ Даніеля, полагая, что электровозбудительная сила элемента Бунзена въ 1,75 болѣе электровозбудительной силы элемента Даніеля а сопротивленіе въ три раза менѣе.—Желаютъ дѣйствовать токомъ на тѣло большого сопротивленія; какую изъ двухъ батарей одинаковаго напряженія на электродахъ, но разныхъ сопротивленій, слѣдуетъ предпочесть?—Опредѣлить сопротивленіе платиновой проволоки длиною въ 4 дюйм. и толщиною въ 0,1 линіи, принимая сопротивленіе мѣди за единицу.—Вычислить сопротивленіе желѣзной телеграфной проволоки длиною въ 250 верстъ и толщиною въ 2 линіи, принимая сопротивленіе мѣди за 1.—Найти сопротивленіе цилиндрическаго столба насыщеннаго воднаго раствора поваренной соли, высотою въ 10 футовъ и толщиною (діаметромъ) въ футъ.—Опредѣлить отношеніе ртутной единицы Сименса къ мѣдной, т. е. къ сопротивленію



Фиг. 454.

мѣдной проволоки, длиною въ футъ и толщиною въ линію.—Взята гальваническая батарея изъ n элементовъ одного рода, соединеныхъ параллельно; если въ одну и ту же цѣпь ввести эту батарею и еще одинъ элементъ по противоположному направленію, то какъ велика будетъ сила тока?—Даны 12 гальв. элементовъ; сопротивленіе каждаго равно 40. Какъ надо сочетать элементы, чтобы получить наибольшій токъ, полагая, что внѣшнее сопротивленіе равно 32?—Сравнить силы токовъ для слѣдующихъ сочетаній гальванической батареи, состоящей изъ mn элементовъ: 1) Батарея раздѣлена на n группъ, въ каждой по m элементовъ, въ каждой группѣ элементы введены послѣдовательно, а группы соединены между собою параллельно. 2) Батарея раздѣлена на m группъ, въ каждой по n элементовъ; элементы каждой группы соединены параллельно, а группы введены послѣдовательно.—Придумать такое расположеніе приборовъ и проволокъ (фиг 421), чтобы при телеграфированіи съ одной станціи (наприм. A) приходилъ въ дѣйствіе только пишущій снарядъ (D); другой снарядъ (C) оставался бы въ покоѣ.—Имѣется одна гальваническая батарея и одинъ электрическій звоновъ (фиг. 424), помѣщенный въ одной изъ комнатъ дома; въ другихъ комнатахъ предполагаютъ поставить клавиши, чтобы можно было съ разныхъ точекъ дома дѣйствовать на одинъ и тотъ же звонокъ. Какъ надо соединить между собою снаряды съ наименьшею тратою проволокъ?

ОТДѢЛЪ II.

О СВѢТѢ.

Прямолинейное распространеніе, скорость и сила свѣта.

323. Свѣтъ. Изъ всѣхъ нашихъ чувствъ, зрѣніе даетъ намъ самое ясное понятіе о природѣ. Неизвѣстная причина, посредствомъ которой естественные предметы производятъ на глазъ впечатлѣніе и чрезъ то дѣлаются видимыми, называется *свѣтомъ*.

324. Раздѣленіе тѣлъ въ отношеніи свѣта. Относительно свѣта тѣла раздѣляются на *самосвѣтящіяся* и *темныя*. Первыя издаютъ собственный свѣтъ, и потому могутъ быть видимы безъ помощи другихъ тѣлъ; сюда относятся: солнце, звѣзды, пламя. Темные предметы можно видѣть только въ присутствіи самосвѣтящагося тѣла; сюда принадлежатъ: планеты, луна и почти всѣ тѣла на земной поверхности.

Тѣла раздѣляются еще на *прозрачныя* и *непрозрачныя*. Прозрачныя пропускаютъ чрезъ себя свѣтъ, какъ напр. стекло, вода, воздухъ. Чрезъ непрозрачныя свѣтъ не проходитъ; таковы: металлы, дерево. Впрочемъ, надо замѣтить, что, какъ нѣтъ тѣла совершенно прозрачнаго, такъ, вѣроятно, не существуетъ и совершенно непрозрачнаго: при увеличиваніи толщины прозрачнаго тѣла, оно можетъ сдѣлаться непрозрачнымъ; равнымъ образомъ, тонкая пластинка непрозрачнаго вещества иногда просвѣчиваетъ, какъ это наблюдается въ тонкомъ золотомъ листкѣ, который пропускаетъ чрезъ себя зеленый свѣтъ.

325. Гипотезы о свѣтѣ. Не имѣя возможности узнать, что такое свѣтъ неоднократно составляли гипотезы о существѣ его.

Нѣкоторые древніе философы полагали, что причина свѣта находится въ насъ самихъ, что изъ глазъ истекаетъ особенное вещество, которымъ мы осязаемъ предметы; это предположеніе ничѣмъ не оправдывается и даже противорѣчитъ наблюденію, потому что въ темнотѣ, безъ присутствія самосвѣтящагося тѣла, мы ничего не можемъ видѣть.

Долгое время принималась гипотеза *истеченія свѣта*, принадлежащая Ньютону. По мнѣнію этого ученаго, свѣтящееся тѣло выбрасываетъ съ огромною скоростью невѣсомое вещество, которое, придя въ нашъ глазъ, производитъ ударъ, воспринимаемый нервами зрѣнія въ видѣ свѣта; встрѣчая на пути преграду, оно частію отбрасывается и, попадая въ глазъ, даетъ возможность видѣть внѣшніе предметы. Прозрачныя тѣла суть тѣ, которыя пропускаютъ чрезъ себя это вещество; непрозрачныя—задерживаютъ. Гипотеза Ньютона была оставлена потому, что нѣкоторыя свѣтовыя явленія совершенно ею не объясняются.

Самая вѣроятная гипотеза, объясняющая до малѣйшей подробности всѣ явленія свѣта, называется *гипотезой волненія;* она принадлежитъ Гюйгенсу и обработана и измѣнена Юнгомъ, Френелемъ, Араго, Коши, Малюсомъ и многими другими. По этой гипотезѣ, въ природѣ нѣтъ абсолютной пустоты, но весь міръ наполненъ разрѣженнымъ и упругимъ до высшей степени веществомъ, называемымъ *эфиромъ*, который находится даже въ тѣлахъ, между атомами. Свѣтящіеся предметы имѣютъ свойство заставлять лежащія около нихъ частицы эфира приходить въ дрожаніе, то есть двигаться взадъ и впередъ съ чрезвычайною быстротою; эти частицы приводятъ въ колебаніе слѣдующій слой частицъ, тѣ—слѣдующій и т. д. Такая передача, по причинѣ большой упругости эфира и незначительной его плотности, совершается съ огромною скоростью. Свѣтъ есть ощущеніе, испытываемое нервами зрѣнія, когда до нихъ достигаетъ дрожаніе эфира. Нѣчто подобное наблюдается въ воздухѣ: быстрыя колебанія его частицъ воспринимаются ухомъ въ видѣ звука [465]. Прозрачныя тѣла пропускаютъ чрезъ себя колебанія эфира, непрозрачныя—задерживаютъ.

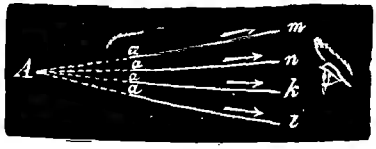
326. Распространеніе свѣта въ однородной срединѣ. *Срединою* въ отношеніи свѣта называется всякое прозрачное тѣло.

Въ однородной срединѣ и пространствѣ, не наполненномъ вѣсомымъ веществомъ, свѣтъ распространяется по прямымъ линіямъ. Если на прямой линіи, соединяющей глазъ и свѣтящуюся точку, помѣстить непрозрачное тѣло, то мы не увидимъ этой точки. Прямолинейное распространеніе свѣта наблюдается также въ темной комнатѣ, когда чрезъ отверстіе въ ставнѣ проходитъ лучъ, который даетъ видимыя для глаза прямыя линіи, освѣщая пылинки, плавающія въ воздухѣ, и частицы самого воздуха.

Лучи свѣта. Лучи свѣта бываютъ *параллельные, расходящіеся* и *сходящіеся*. Если свѣтящаяся точка находится въ разстояніи чрезвычайно большомъ, то, безъ чувствительной погрѣшности, можно считать лучи, падающіе отъ нея на небольшую плоскость, параллельными; но, говоря точно, отъ всякой свѣтящейся точки, въ какомъ бы разстояніи она ни находилась, лучи расходятся. Сходящіеся лучи имѣютъ такое направленіе, что, по достаточномъ продолженіи, должны сойтись въ одной точкѣ (фиг. 455). Свѣтящаяся точка не можетъ испускать такихъ лучей, и если мы найдемъ средство произвести ихъ искусственно,

то глазъ A, находясь подъ ихъ впечатлѣніемъ, ничего не увидитъ; напротивъ, если въ глазъ вступаютъ расходящіеся лучи, то на общемъ ихъ пересѣченіи мы видимъ свѣтящуюся точку, хотя бы въ дѣйствительности ея не было. Такъ напр., если на глазъ падаютъ лучи am, an, ak, al (фиг. 456), то въ A, на взаимномъ пересѣченіи продолженныхъ

Фиг. 455.

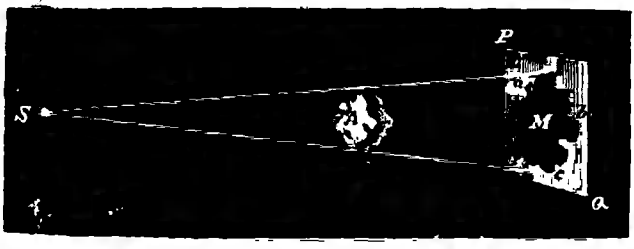


Фиг. 456.

лучей, увидимъ свѣтящуюся точку.

327. Тѣнь и полутѣнь. Если лучи свѣта встрѣчаютъ непрозрачное тѣло, то получается *тѣнь*, которая бываетъ различна, смотря по тому, исходятъ ли лучи отъ свѣтящейся точки, или отъ свѣтящагося тѣла.

1) Пусть S—свѣтящаяся точка (фиг. 457), A—непрозрачное тѣло. Проведемъ изъ S прямыя линіи, касательныя къ тѣлу A и объемлющія его со всѣхъ сторонъ; тогда на преграду PQ, въ



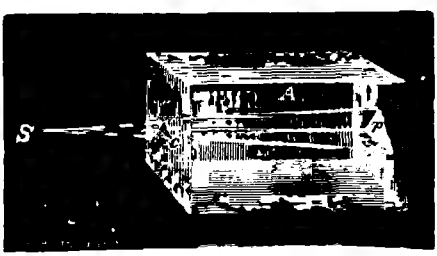
Фиг. 457.

пространство abc, ограниченное этими линіями, не упадаетъ ни одного луча; здѣсь получается тѣнь M.

2) Свѣтящееся тѣло можно представить состоящимъ изъ безчисленнаго множества свѣтящихся точекъ; для простоты, пусть тѣла, свѣтящееся и непрозрачное, суть шары SZ и A (фиг. 458). Проведя линіи Sb и Zc и множество другихъ, касательныхъ къ обѣимъ шаровымъ поверхностямъ, мы ограничимъ на преградѣ пространство d, внутри котораго не упадетъ ни одного луча; здѣсь явится полная тѣнь. Кромѣ того, будутъ точки, лежащія внѣ тѣни, на которыя попадутъ лучи только отъ нѣкоторыхъ частей предмета SZ; чтобы опредѣлить эти точки, надо провести прямыя линіи, касающіяся обоихъ шаровъ по разныя стороны, подобно линіямъ Sn и Zm. Пересѣченія такихъ касательныхъ линій съ преградой обозначитъ обводъ $mqnp$. Всѣ точки преграды, лежащія внѣ линіи $mqnp$, освѣщены всѣми точками предмета ZS. Всякая точка находящаяся между тѣнью d и линіею $mqnp$, освѣщена только частью

тѣла SZ,—частію, тѣмъ большею, чѣмъ эта точка лежитъ ближе къ линіи $mqnp$. Слабо освѣщенная часть преграды, лежащая между тѣнью d и линіею $mqnp$, называется *полутѣнью*. Такимъ образомъ, при освѣщеніи предмета свѣтящимся тѣломъ, не получается рѣзко ограниченной тѣни, но есть постепенный переходъ отъ полной тѣни къ полному свѣту. На практикѣ никогда не бываетъ абсолютной тѣни, потому что частицы воздуха и разные предметы, будучи освѣщены солнцемъ или другимъ источникомъ свѣта, отбрасываютъ отъ себя во всѣ стороны лучи которые, попадая въ пространство, занимаемое тѣнью, уменьшаютъ ея напряженіе. Чѣмъ гуще воздухъ и чѣмъ болѣе освѣщенныхъ предметовъ, тѣмъ тѣни свѣтлѣе. Если напр. сторона небеснаго свода, противоположная той, гдѣ находится солнце, покрыта блестящими бѣлыми облаками, то тѣни весьма слабы; напротивъ, при безоблачномъ небѣ, на высокихъ горахъ, гдѣ воздухъ рѣдокъ, контрасты между свѣтомъ и тѣнью весьма велики.

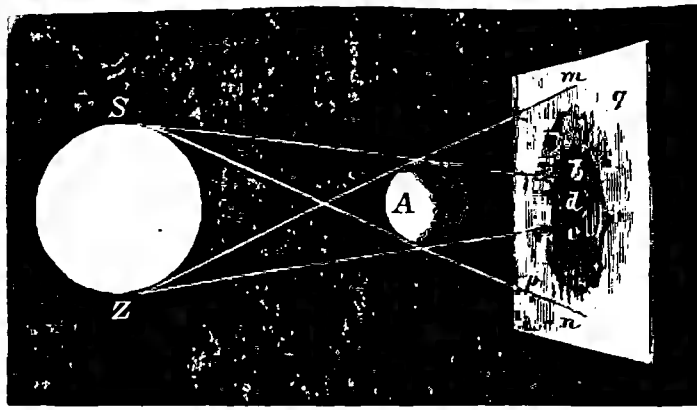
328. Явленія при прохожденіи свѣта чрезъ малыя отверстія. Пусть пучекъ расходящихся лучей $Sabc$ (фиг. 459), испускаемыхъ свѣтящеюся точкой S, проходитъ чрезъ отверстіе abc какой угодно формы, напр. треугольное, сдѣланное въ стѣнкѣ темнаго ящика A; тогда на противуположной стѣнкѣ является изображеніе треугольника p. Всякій предметъ самосвѣтящійся, или, хотя и темный, но освѣщенный источникомъ свѣта, можно разсматривать, какъ рядъ свѣтящихся точекъ. Пусть напр. лучи падаютъ отъ дома (фиг. 460), освѣщеннаго солнцемъ, въ треугольное отверстіе d темнаго ящика A. Разныя точки предмета дадутъ, на задней сторонѣ ящика, изображенія треугольниковъ, которыхъ будетъ столько, сколько точекъ въ предметѣ; эти треугольники, налегая частію одинъ на другой, расположатся въ обратномъ порядкѣ, чѣмъ точки освѣщеннаго тѣла, то есть верхняя точка предмета дастъ треугольникъ внизу, нижняя—вверху, правая—налѣво, лѣвая—направо. Такимъ образомъ, независимо отъ формы отверстія, получится обра-



Фиг. 459.

Фиг. 460.

ное изображеніе предмета. Должно впрочемъ замѣтить, что это справедливо только въ случаѣ большого удаленія освѣщеннаго предмета и малой величины отверстія: иначе, изображеніе будетъ имѣть то же очертаніе, какъ и отверстіе.—На этомъ свойствѣ основано объясненіе, почему въ солнечный день свѣтлыя пятна, являющіяся на полу аллеи, или бесѣдки, не смотря на различный видъ промежутковъ между листьями деревьевъ, имѣютъ видъ кружковъ, и почему во время частныхъ солнечныхъ затмѣній эти пятна—лунообразной формы.



Фиг. 458.

329. Скорость свѣта. Свѣтъ не передается мгновенно изъ одного мѣста въ другое, но требуетъ нѣкотораго времени, впрочемъ весьма малаго. Датскій астрономъ Рёмеръ въ 1675 г. вывелъ скорость свѣта изъ наблюденій надъ затмѣніями юпитеровыхъ спутниковъ. Планета Юпитеръ I, какъ извѣстно, (фиг. 461) совершаетъ свой оборотъ около солнца S въ 12 лѣтъ и сопровождается 4-мя лунами или спутниками; ближайшій изъ нихъ L обходитъ планету въ $42^1/_2$ часа и каждый разъ погружается въ тѣнь ея, отъ чего происходитъ его затмѣніе. Такъ какъ время, протекающее отъ одного затмѣнія до другого, или между двумя послѣдовательными выходами спутника изъ тѣни, должно быть одно и то же, то можно составить таблицу, въ которой на цѣлый годъ впередъ будутъ означены времена на-

Фиг. 461.

чала и конца затмѣнія. Рёмеръ замѣтилъ, что такая таблица не согласуется съ наблюденіями: если ея показанія начинаются съ того мгновенія, когда земля была въ T, то затмѣнія опаздываютъ все болѣе и болѣе, по мѣрѣ того, какъ земной шаръ отступаетъ изъ T въ T', такъ что при переходѣ его въ T', а Юпитера изъ I въ I', разность достигаетъ 16′36″. Но какъ при этомъ разстояніе между планетами постоянно возрастаетъ, то слѣдуетъ заключить, что свѣтъ переходитъ изъ одного мѣста въ другое не мгновенно, но употребляетъ на это тѣмъ большій промежутокъ времени, чѣмъ больше разстояніе, которое онъ долженъ пройти. Безъ значительной ошибки, можно принять, что въ положеніи T' земля отстоитъ отъ Юпитера далѣе, чѣмъ въ T, на поперечникъ своего пути около солнца; такимъ образомъ, свѣтъ, чтобы пробѣжать это пространство, требуетъ 16′36″ или 996″. Такъ какъ поперечникъ земного пути равенъ 288 милліонамъ верстъ, то раздѣливъ это число на 996, найдемъ, что скорость свѣта, или пространство, пробѣгаемое имъ въ 1″; равна приблизительно 288000 верстъ.

Французскій ученый Физо и потомъ Фуко дали способы опредѣлять скорость свѣта не только въ пустомъ пространствѣ, какъ это сдѣлалъ Рёмеръ, но и въ прозрачныхъ тѣлахъ. Изъ этихъ опытовъ оказалось, что скорость свѣта во всѣхъ срединахъ менѣе, нежели въ пустотѣ. По новѣйшимъ изслѣдованіямъ Корню (Cornu) скорость свѣта въ воздухѣ равна 281475 верстъ, а въ пустотѣ 281600, гдѣ ошибка менѣе 300 верстъ.

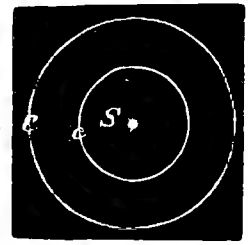
Изъ скорости свѣта можно вывести многія интересныя слѣдствія. Разстояніе земли отъ солнца равно половинѣ поперечника земной орбиты; поэтому, свѣтъ доходитъ до насъ отъ солнца въ 8 мин. и 18 сек. Это значитъ: еслибы солнце вдругъ померкло, то мы продолжали бы его видѣть еще 8 м. 18 с.; если бы потомъ оно снова стало свѣтить, то мы узнали бы объ этомъ только по истеченіи 8 м. 18 с. Самыя ближайшія звѣзды столь удалены отъ насъ, что свѣтъ ихъ достигаетъ земли по крайней мѣрѣ въ 3 года, но есть изъ нихъ и такія, отъ которыхъ свѣтъ доходитъ въ тысячелѣтія. По этой причинѣ, видимая нами теперь картина неба не принадлежитъ къ этой эпохѣ, но ко временамъ давно минувшимъ, а какъ расположены звѣзды теперь, увеличилось или уменьшилось ихъ число, и есть ли вообще какія нибудь отступленія сравнительно съ тѣмъ, что наблюдается въ настоящую эпоху,—обо всемъ этомъ узнаютъ только будущія отдаленныя поколѣнія.

330. Сила свѣта. Подъ *силою свѣта* разумѣютъ степень освѣщенія какой либо поверхности, или, что все равно, количество лучей, падающихъ на единицу поверхности; найдены слѣдующіе законы силы свѣта.

1) *Сила свѣта расходящихся лучей обратно пропорціональна квадрату разстоянія.*

2) *Сила свѣта прямо пропорціональна синусу угла, образованнаго направленіемъ лучей съ плоскостью, на которую эти лучи падаютъ.*

Первый законъ можно объяснить такъ. Вообразимъ свѣтящуюся точку S (фиг. 462) и опишемъ около нея двѣ концентрическія шаровыя поверхности c и C радіусами, которые соотвѣтственно обозначимъ чрезъ r и R. Если бы первая шаровая поверхность была непрозрачна, то она задержала бы всѣ лучи, вышедшіе изъ свѣтящейся точки. Если бы этой поверхности не существовало, то тѣ же лучи упали бы на вторую шаровую поверхность. Такимъ образомъ, на каждую изъ двухъ шаровыхъ поверхностей упало бы одно и то же количество лучей свѣта, но освѣщеніе ихъ было бы неодинаковое, потому что на внѣшней поверхности свѣтъ распространился бы по большему пространству, и на каждую единицу площади упало бы лучей во столько разъ менѣе, во сколько поверхность внѣшняго шара болѣе поверхности внутренняго. Изъ стереометріи же извѣстно, что поверхности шаровъ относятся какъ квадраты радіусовъ; поэтому, обозначивъ соотвѣтственно чрезъ f и F силы свѣта для поверхностей внутренней и внѣшней, получимъ:

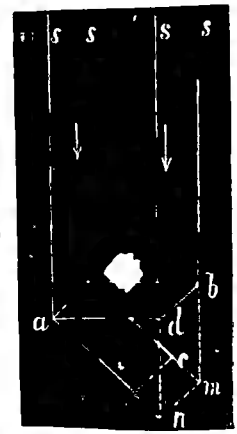


Фиг. 462.

$$f : F = R^2 : r^2.$$

Въ случаѣ параллельныхъ лучей, освѣщеніе отъ разстояніи не зависитъ.

Для оправданія второго закона, вообразимъ пучекъ параллельныхъ лучей s (фиг. 463), падающихъ перпендикулярно на плоскость ab. Пусть эта плоскость приняла наклонное къ лучамъ положеніе ac; тогда ясно, что нѣкоторые изъ лучей, прежде на нее падавшихъ, теперь уже пройдутъ мимо, и освѣщеніе будетъ слабѣе. Чтобы опредѣлить отношеніе между освѣщеніями въ обоихъ случаяхъ, допустимъ, что ab есть прямоугольникъ. Продолжимъ стороны прямоугольника ac до пересѣченія съ линіями sb и sd въ точкахъ m и n и проведемъ прямую mn. Тогда получится опять прямоугольникъ am, на который упадетъ то же число лучей, что прежде на ab, но освѣщеніе перваго am будетъ слабѣе второго ab, и при томъ во столько разъ, во сколько площадь ab менѣе площади am; а отношеніе этихъ площадей, какъ извѣстно изъ планиметріи, равно отношенію высотъ ad и am; слѣдовательно, назвавъ силу свѣта для прямоугольника am чрезъ f, а для ab—чрезъ F, будемъ имѣть:



Фиг. 463.

$$f : F = ad : an.$$

Съ другой стороны, изъ треугольника adn выходитъ

$$ad : an = \sin and : 1;$$

сравнивъ обѣ пропорціи, найдемъ:

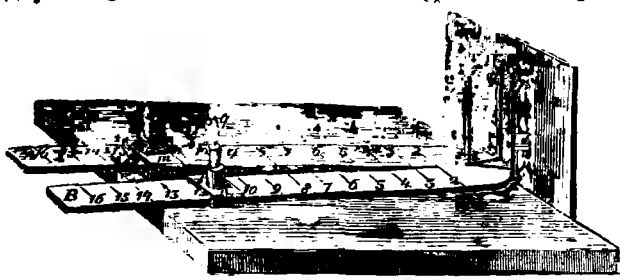
$$f : F = \sin and : 1,$$

откуда

$$f = F \sin and,$$

то есть сила свѣта прямо пропорціональна синусу угла, составленнаго падающимъ лучемъ съ освѣщаемою плоскостью. Когда этотъ уголъ нуль, то есть когда лучи скользятъ вдоль плоскости, то синусъ его также нуль, и освѣщенія никакого не будетъ. Наибольшее освѣщеніе имѣетъ мѣсто, когда лучи перпендикулярны къ плоскости, потому что тогда синусъ имѣетъ наибольшую величину.

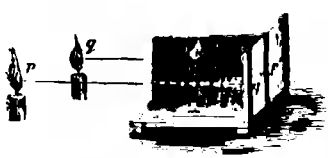
Фотометры. *Фотометрами* называются приборы, служащіе для оправданія законовъ освѣщенія и для сравненія напряженности источниковъ свѣта. Между разными родами ихъ, самый простой состоитъ изъ двухъ деревянныхъ линеекъ A и B (фиг. 464), вращающихся на шарнирѣ. Къ одной изъ нихъ придѣланъ столбикъ c; на линейкахъ, въ m и n, ставятъ зажженныя свѣчи или какіе либо другіе источники свѣта. Пусть въ m поставлена свѣча p, а въ n—4 такія же свѣчи, или равносильный имъ источникъ свѣта q. Приложивъ шарниръ къ стѣнѣ, получимъ на ней отъ столбика c двѣ тѣни; тѣнь q' будетъ освѣщаться свѣчею p, а тѣнь p'—источникомъ q. Предположимъ, что тѣнь p' свѣтлѣе q'; приближая тогда къ стѣнѣ свѣчу p, можемъ достигнуть того, что тѣни будутъ одинаково темны. На линейкахъ сдѣланы дѣленія, по которымъ можно отсчитать разстоянія источниковъ свѣта отъ тѣней. При этомъ оказывается, что разстояніе q отъ p' вдвое болѣе разстоянія p отъ q'. Если бы вмѣсто источника q взяли 9 свѣчей, то пришлось бы поставить ихъ на разстояніи, втрое большемъ отъ p', нежели p отстоитъ отъ q'. Этимъ доказывается первый законъ.



Фиг. 464.

При сравненіи силы двухъ источниковъ свѣта поступаютъ подобнымъ образомъ. Источники передвигаютъ по линейкамъ A и B до тѣхъ поръ, пока не получатъ одинаковыхъ тѣней; потомъ опредѣляютъ отношеніе квадратовъ разстояній p' отъ q и q' отъ p.

Въ болѣе совершенномъ видѣ, этотъ фотометръ имѣетъ слѣдующее устройство. Устанавливаютъ вертикально матовое стекло, или листъ прозрачной бумаги $p'q'$ (фиг. 465). Ширма c позволяетъ падать лучамъ каждаго изъ двухъ источниковъ свѣта p и q только на одну половину бумаги, а другая половина въ то же время освѣщается другимъ источникомъ. Источники свѣта перемѣщаютъ до тѣхъ поръ, пока обѣ половины бумаги не будутъ одинаково освѣщены;



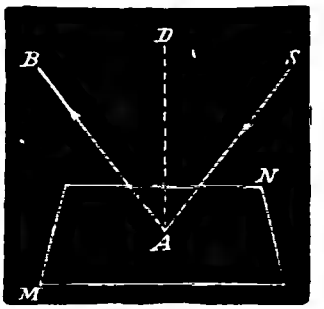
Фиг. 465.

затѣмъ, вычисляютъ отношеніе квадратовъ разстоянія источниковъ отъ экрана pq.

Изъ фотометрическихъ изысканій найдено, что солнечные лучи освѣщаютъ какую либо поверхность съ такою же силою, какъ 5563 свѣчи въ разстояніи фута отъ той же поверхности, а лучи луны—какъ одна свѣча, въ разстояніи 7 футовъ.

Отраженіе свѣта.

331. Отраженіе свѣта. Если лучъ свѣта SA (фиг. 466) встрѣчаетъ полированную плоскость MN, то онъ измѣняетъ свое направленіе и удаляется отъ этой плоскости по линіи AB. Это явленіе называется *отраженіемъ свѣта*, уголъ SAD, составленный падающимъ лучемъ и перпендикуляромъ къ плоскости,—*угломъ паденія*, уголъ DAB—*угломъ отраженія*.



Фиг. 466.

Полированная поверхность въ отношеніи свѣта называется *зеркаломъ*.

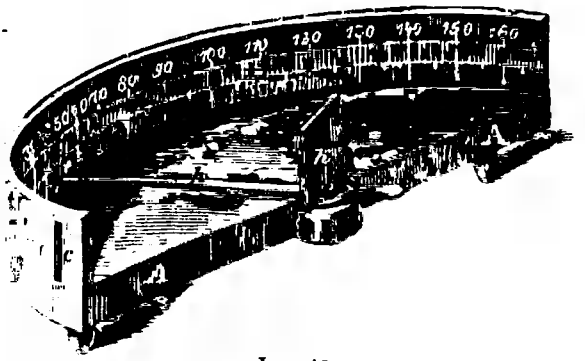
Законы отраженія свѣта. При отраженіи свѣта замѣчаются слѣдующіе законы.

1) *Уголъ паденія равенъ углу отраженія.*

2) *Лучи, падающій и отраженный, находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ, возстановленнымъ изъ точки паденія луча къ плоскости, на которую падаетъ лучъ.*

Для доказательства этихъ законовъ на опытѣ употребляются разные пріемы.

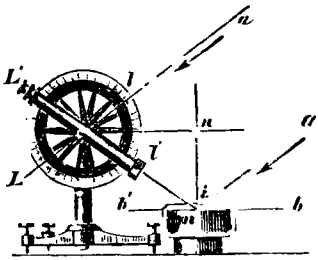
1) По окружности деревянной полукруглой доски AA (фиг. 467) утверждается металлическій листъ cc', свернутый въ полуцилиндръ и раздѣленный на градусы. Около центра полукруга вращается стержень h, на которомъ утверждено, перпендику-



Фиг. 467.

лярно къ нему, зеркало k. Чрезъ отверстіе c, сдѣланное въ металлическомъ листѣ, смотрятъ на зеркало, въ которомъ, чрезъ отраженіе, будетъ видно одно изъ дѣленій. Дуга, заключенная между этимъ дѣленіемъ и концомъ t стержня h, изображающаго перпендикуляръ къ зеркалу, при всякомъ положеніи зеркала,—равна дугѣ между тѣмъ же концомъ стержня и отверстіемъ c, чѣмъ и подтверждаются законы отраженія свѣта.

2) Слѣдующій способъ даетъ возможность повѣрить упомянутые законы съ такою точностію, какую только допускаютъ астрономическія наблюденія. На горизонтальной оси c (фиг. 468) утверждаютъ телескопъ Ll, описывающій при вращеніи вертикальную плоскость, въ которой также находится кругъ, раздѣленный на градусы. Въ m ставятъ чашку со ртутью. Телескопъ устанавливаютъ такимъ образомъ, чтобы по оси его прошелъ лучъ alL какой нибудь яркой звѣзды; потомъ, замѣтивъ на кругѣ положеніе Ll телескопа, поворачиваютъ его въ положеніе Ll', то есть до тѣхъ поръ, пока другой лучъ $a'i$, идущій отъ той же звѣзды и параллельный alL, отразясь отъ зеркальной поверхности ртути, попадетъ въ телескопъ.



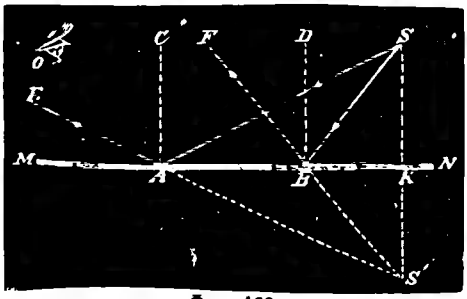
Фиг. 468.

Тогда оказывается, что отклоненія телескопа отъ горизонтальной линіи cn, или углы acn и nci, равны между собою. Но поверхность ртути въ спокойномъ состояніи совпадаетъ съ горизонтальной плоскостью bb'; поэтому, $\angle nci = \angle cib'$, а $\angle acn = \angle a'ib$; слѣдовательно $\angle a'ib = \angle cib'$. Возставивъ къ поверхности ртути перпендикуляръ in, будемъ имѣть изъ послѣдняго равенства: $\angle a'in = \angle nic$, то есть уголъ паденія равенъ углу отраженія; изъ построенія также видимъ, что лучи падающій и отраженный лежатъ въ одной плоскости съ перпендикуляромъ in.

Разные роды зеркалъ. Зеркала бываютъ разныхъ родовъ: плоскія, сферическія, коническія, цилиндрическія и проч. Въ практикѣ преимущественно употребляются плоскія и сферическія.

Отраженіе свѣта отъ плоскихъ зеркалъ.

332. Изображеніе свѣтящейся точки. Пусть на плоское зеркало MN (фиг. 469) падаютъ лучи SA и SB отъ свѣтящейся точки S. Поставимъ перпендикуляры AC и BD. Лучи отразятся по линіямъ AE и BF, такъ что углы SAC и SBD будутъ соотвѣтственно равны угламъ CAE и DBF. Глазъ, помѣщенный



Фиг. 469.

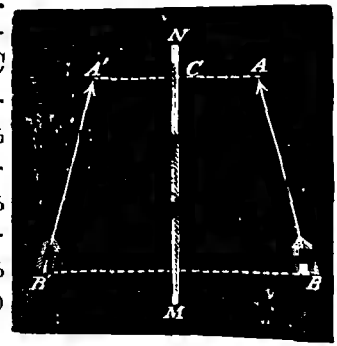
въ точкѣ O, получитъ впечатлѣніе отъ расходящихся лучей и увидитъ свѣтящуюся точку S', лежащую на пересѣченіи лучей AE и BF [326], хотя въ дѣйствительности ея тамъ нѣтъ. Не трудно доказать, что S и S' находятся на одномъ и томъ же перпендикулярѣ SS', въ равныхъ разстояніяхъ отъ зеркала, такъ что SK равно $S'K$.

Треугольники SAB и $S'AB$ равны. Сторона AB у нихъ общая; уголъ SAC равенъ углу CAE; слѣдовательно, $\angle SAB$ равенъ $\angle EAM$; уголъ EAM равенъ $\angle BAS'$, а потому уголъ SAB равенъ $\angle S'AB$. Точно такъ же можно показать, что уголъ $SBK = \angle S'BK$, откуда $\angle SBA$ равенъ $\angle S'BA$, какъ дополненія равныхъ угловъ до двухъ прямыхъ. Итакъ, треугольники SBA и $S'BA$ имѣютъ общую сторону и два соотвѣтственно равныхъ угла. Изъ равенства ихъ выходитъ равенство сторонъ SB и $S'B$. Треугольники SBK и $S'BK$ также равны, потому что двѣ стороны одного треугольника равны порознь двумъ сторонамъ другого (BK общая и $SB = S'B$), и углы, заключенные между этими сторонами, равны ($\angle SBK = \angle S'BK$). Отсюда уже слѣдуетъ, что линія SK равна $S'K$ и что линія $S'S$ перпендикулярна къ MN.

Не трудно также видѣть, что не только лучи SA и SB послѣ отраженія будутъ казаться выходящими изъ точки S', но и всѣ прочіе лучи, вышедшіе изъ точки S и отраженные отъ зеркала.

Если перпендикуляръ SK падаетъ на продолженіе зеркала, а не на самое зеркало, то разсужденія и выводъ останутся тѣ же самые,—если только свѣтящаяся точка находится впереди полированной поверхности, потому что, въ противномъ случаѣ, отраженія вовсе не будетъ.

333. Построеніе изображенія предмета въ плоскомъ зеркалѣ. Если намъ извѣстенъ способъ находить изображеніе точки въ плоскомъ зеркалѣ, то легко построить изображеніе и тѣла. Пусть MN (фиг. 470)—зеркало и AB—предметъ. Чтобы найти изображеніе точки A, должно изъ нея опустить перпендикуляръ AC на зеркало MN и отложить на немъ линію CA', равную CA; тогда A' будетъ изображеніемъ точки A. Поступивъ подобнымъ образомъ съ точкою B, найдемъ ея изображеніе въ B'. Между A' и B' будутъ лежать изображенія прочихъ точекъ предмета. Величина изображенія и самого предмета очевидно между собою равны.



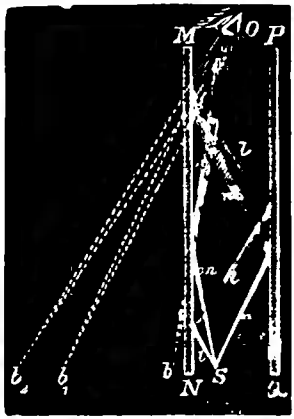
Фиг. 470.

334. Отраженіе въ параллельныхъ зеркалахъ. Если свѣтящаяся точка или предметъ находятся

между двумя параллельными зеркалами, то получается безчисленное множество изображеній.

Пусть MN и PQ (фиг. 471) представляютъ два такія зеркала, а S— свѣтящуюся точку. Лучи могутъ достигнуть глаза послѣ нѣсколькихъ отраженій; ходъ лучей для ясности представленъ на двухъ фигурахъ 471 и 472; первая показываетъ образованіе изображеній въ зеркалѣ MN, а вторая—въ PQ. Пучокъ лучей m приходитъ въ глазъ послѣ одного отраженія отъ зеркала MN и даетъ изображеніе въ b. Лучи n падаютъ сначала на зеркало PQ, потомъ отражаются отъ зеркала MN и, послѣ второго отраженія, даютъ изображеніе въ b_1. Лучи l достигаютъ глаза послѣ трехъ отраженій: отъ зеркала MN, далѣе отъ PQ и, наконецъ, опять отъ MN отъ этого, получается изображеніе въ b_2. Будутъ еще лучи, которые не показаны на фигурѣ и которые придутъ въ глазъ послѣ четырехъ, пяти и т. д. отраженій. Подобнымъ образомъ зеркало PQ (фиг. 472) даетъ изображенія c, c_1, c_2 и т. д., произведенныя соотвѣтственно лучами: p послѣ одного отраженія, q послѣ двухъ. r послѣ трехъ и т. д.

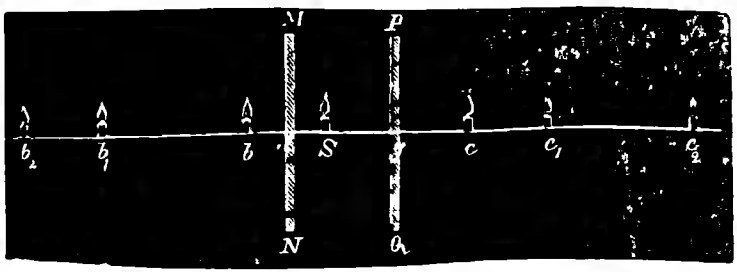
Изложенное построеніе можно замѣнить другимъ.



Фиг. 471.

Фиг. 472.

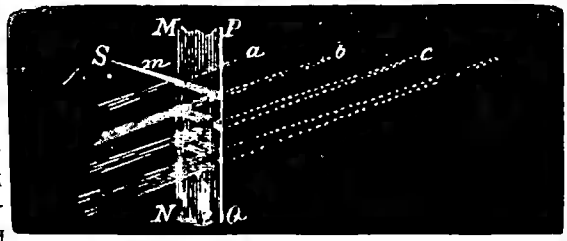
Пусть MN и PQ (фиг. 473) два зеркала, и между ними свѣтящаяся точка S; опустимъ перпендикуляръ Sd на зеркало MN; продолживъ его по другую сторону и отложивъ db равное dS, получимъ въ



Фиг. 473.

точкѣ b изображеніе точки S. Подобнымъ образомъ находимъ изображеніе c свѣтящейся точки S въ зеркалѣ PQ; для этого, нужно, чтобы gc было равно gS. Изображеніе c отразится потомъ зеркаломъ MN и дастъ новое изображеніе въ точкѣ b_1; dc должно быть равно db_1. Откладывая потомъ gc_1 и gc_2, равныя соотвѣтственно gb и gb_1, получимъ въ c_1 и c_2 изображенія точекъ b и b_1 въ зеркалѣ PQ; и т. д. Изображенія послѣ многихъ отраженій весьма слабы, потому что при каждомъ отраженіи часть свѣта теряется, и, наконецъ, дѣлаются незамѣтными.

335. Отраженіе свѣта отъ амальгамированныхъ зеркалъ. Зеркало металлическое, имѣя одну полированную поверхность, даетъ только одно изображеніе; въ стеклянномъ зеркалѣ, котораго задняя сторона покрыта металломъ, замѣчается множество изображеній, особенно если отражающійся предметъ испускаетъ довольно много свѣта, какъ напримѣръ свѣча. Первое ближайшее изображеніе бываетъ весьма слабое, второе сильное, третье нѣсколько слабѣе, четвертое еще слабѣе и т. д., до совершеннаго уничтоженія. Это объясняется существованіемъ въ стеклянномъ зеркалѣ двухъ отражающихъ поверхностей, изъ которыхъ одна MN (фиг. 474) стеклянная, другая PQ металлическая. Пучекъ лучей m, выходящихъ изъ свѣтящейся точки S, частію отражается отъ поверхности MN, частію проходитъ во внутренность стекла и падаетъ на заднюю сторону PQ зеркала. Первая часть даетъ изображеніе a, весьма слабое, потому что стекло само по себѣ отражаетъ весьма мало лучей. Вторая часть отразится отъ поверхности металла PQ и упадетъ на MN, гдѣ снова разложится на двѣ части: одна выйдетъ изъ стекла и дастъ изображеніе въ b, другая опять отразится и упадетъ на зеркальную поверхность PQ. Здѣсь снова лучи отразятся и, достигнувъ MN, частію выйдутъ и дадутъ изображеніе въ c, частію отразятся и т. д.



Фиг. 474.

336. Отраженіе отъ двухъ, наклоненныхъ другъ къ другу, зеркалъ. Лучи, выходящіе изъ свѣтящей точки A (фиг. 475), помѣщенной между двумя зеркалами NM и NS, наклоненными другъ къ другу подъ угломъ, могутъ дать нѣсколько изображеній.

Это происходитъ отъ того, что лучи, прежде ихъ вступленія въ глазъ O, претерпѣваютъ одно, или нѣсколько отраженій; такъ, лучъ n достигаетъ глаза послѣ одного отраженія и даетъ изображеніе въ A_1, лучъ m испытываетъ два отраженія и т. д.—Можно разсуждать иначе.

Опустивъ изъ свѣтящейся точки A перпендикуляры AaA_1 и Aa_1A_2 на зеркала NS и NM и сдѣлавъ A_1a равнымъ Aa, а A_2a_1 равнымъ Aa_1, получимъ въ каждомъ зеркалѣ по одному изображенію A_1 и A_2

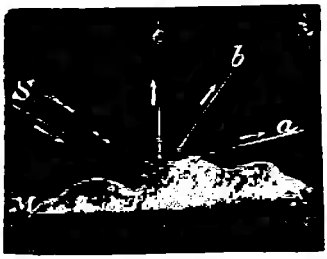
[332]; потомъ A_2, находясь предъ зеркаломъ NS, отразится въ A_4; въ свою очередь A_1 и A_4 дадутъ изображенія въ A_3 и A_5; эти послѣднія лежатъ позади зеркалъ MN и NS, или, лучше сказать, за ихъ продолженіями, а потому болѣе отразиться не могутъ.

Изъ фигуры видно, что число изображеній увеличивается съ уменьшеніемъ угла наклоненія зеркалъ. Когда зеркала достигнутъ параллельности, то число изображеній сдѣлается безконечно большимъ.

Калейдоскопъ. На отраженіи отъ двухъ зеркалъ основано устройство игрушки, называемой *калейдоскопомъ*. Три плоскія зеркала a, b и c (фиг. 476) равной величины складываютъ такъ, чтобы они образовали трехгранную равностороннюю призму, и заключаютъ въ трубку p; основаніе призмы покрываютъ круглымъ стекломъ, на которое насыпаютъ разноцвѣтныхъ камешковъ, и закрываютъ другимъ стекломъ. Если смотрѣть съ противоположнаго конца въ трубку, обративъ ее къ свѣту, то увидимъ въ углахъ призмы разноцвѣтныя группы, которыхъ очертаніе и составъ, при вращеніи трубки, безпрестанно измѣняются.

Фиг. 476.

337. Свѣтъ разсѣянный и свѣтъ отраженный. Неполированную плоскость можно разсматривать какъ кривую полированную поверхность MN (фиг. 477), неровности которой однакоже такъ малы, что не могутъ быть наблюдаемы. Вообразимъ чрезвычайно тонкій пучекъ S параллельныхъ лучей; падая на поверхность MN, подъ всевозможными углами, они, послѣ отраженія, пойдутъ по разнымъ направленіямъ a, b, c. Лучи, исходящіе изъ какой либо свѣтящейся точки и падающіе на небольшую часть кривой поверхности, можно разсматривать какъ параллельные, подобные пучку лучей S; они, послѣ отраженія, разсѣются во всѣ стороны. Такимъ образомъ, неполированная (матовая) поверхность разбрасываетъ падающіе на нее лучи въ разныя стороны; эти лучи составляютъ, такъ называемый, *разсѣянный свѣтъ*.



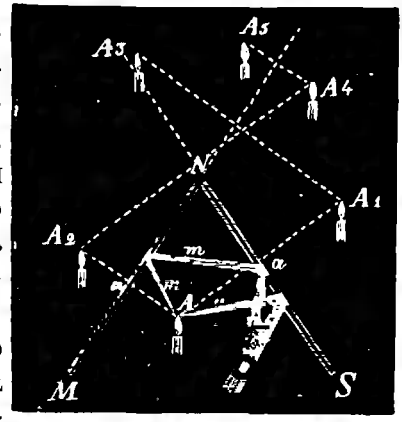
Фиг. 477.

Всякое зеркало, какъ бы оно хорошо ни было отполировано, имѣетъ неровности, и поэтому *разсѣиваетъ* часть падающаго на него свѣта.

Вообще свѣтъ, падающій на какое либо тѣло, разлагается на нѣсколько частей: одна *отражается*, какъ будто бы поверхность MN была совершенное зеркало, безъ всякихъ неровностей, другая *разсѣивается*, третья поглощается тѣломъ, если оно непрозрачно, или, если

тѣло прозрачно, раздѣляется на двѣ части, изъ которыхъ одна проходитъ чрезъ средину, другая поглощается. Величина этихъ частей различна для разныхъ тѣлъ,—даже для одного и того же тѣла она измѣняется съ измѣненіемъ его качествъ, какъ напр. поверхности, толщины: хорошо полированная серебряная пластинка отражаетъ правильно $^3/_4$ падающихъ лучей, бѣлая шероховатая поверхность почти весь свѣтъ разсѣиваетъ, черная поглощаетъ. Количество отраженныхъ лучей увеличивается съ возрастаніемъ угла паденія; напряженіе разсѣяннаго свѣта въ этомъ случаѣ уменьшается.

Мы можемъ видѣть темное тѣло только посредствомъ разсѣиваемаго имъ свѣта. Днемъ, въ комнатѣ, куда не проникаютъ лучи прямо отъ солнца, предметы освѣщаются облаками, частицами воздуха и другими внѣшними предметами. Помощію отраженныхъ лучей, нельзя видѣть зеркала, а только тѣ предметы, которые въ немъ отражаются. Если пропустить лучи солнца въ темную комнату на зеркало, то большая часть ихъ отразится, самое же зеркало почти не будетъ видно; но если покрыть его слегка пылью, чтобы количество отраженнаго свѣта уменьшилось, а разсѣяннаго увеличилось, то мы увидимъ и зеркало.



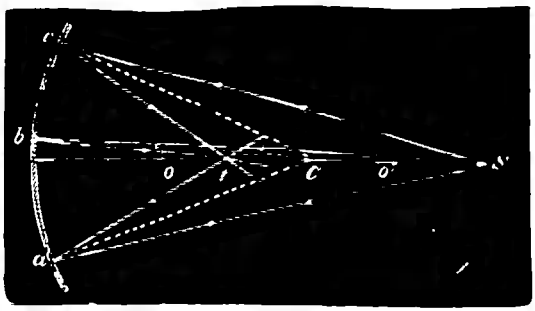
Фиг. 475.

Отраженіе въ сферическихъ зеркалахъ.

338. Сферическія зеркала. Сферическими зеркалами называютъ такія, которыхъ полированная поверхность есть шаровая; они бываютъ двухъ родовъ: *вогнутыя* и *выпуклыя*. У вогнутыхъ зеркалъ полированная поверхность вогнута, а у выпуклыхъ выпукла. Сферическія зеркала составляютъ самую незначительную часть всей шаровой поверхности, или, что все равно, размѣры зеркала всегда бываютъ весьма малы въ сравненіи съ радіусомъ, которымъ оно описано.

Фокусъ лучей въ вогнутомъ зеркалѣ. Пусть AB (фиг. 478) изображаетъ вогнутое зеркало. C — центръ его. Линія, проходящая чрезъ центръ и середину E зеркала называется *главною оптическою осью*, всякая же другая, проведенная чрезъ центръ и какую ни есть точку зеркала,—*побочною оптическою осью*; такимъ образомъ, ES есть главная оптическая ось, а ZP—побочная. Пусть изъ

свѣтящейся точки S (фиг. 479), лежащей на главной оптической оси, падаютъ на зеркало лучи: Sa, Sb, Sc. Для опредѣленія ихъ направленія, замѣтимъ, что шаровую поверхность можно представить себѣ состоящею изъ безчисленнаго множества весьма малыхъ плоскостей; радіусъ, проведенный на такую площадку, будетъ къ ней перпендикуляренъ. Теперь легко видѣть, что углы паденія будутъ: SaC, SbC, и ScC; они должны быть соотвѣтственно равны угламъ отраженія: Caf, Cbf и Ccf. Опытъ и теорія показываютъ, что лучи, падающіе на зеркало около его середины, пересѣкаютъ главную оптическую ось въ одной и той же точкѣ f, называемой *фокусомъ*; прочіе лучи встрѣчаютъ ту же линію ближе къ зеркалу,—и тѣмъ ближе, чѣмъ болѣе уголъ, между лучемъ и главною оптическою осью. Лучи, падающіе на середину зеркала, называются *центральными*.



Фиг. 479.

Для доказательства возьмемъ только одинъ лучь Sa (фиг. 480) и опредѣлимъ *фокусное разстояніе* Ef, или разстояніе отъ середины зеркала до точки f, пересѣченія отраженнаго луча af съ главною оптическою осью; эта величина очевидно будетъ зависѣть отъ разстоянія свѣтящейся точки до зеркала, отъ радіуса зеркала и угла aSE, образованнаго падающимъ лучемъ съ главною оптическою осью. Въ треугольникѣ afS линія aC дѣлитъ уголъ faS пополамъ, а потому, на основаніи извѣстной теоремы геометріи, будемъ имѣть, что противоположная этому углу сторона дѣлится на части, прямо пропорціональныя прилежащимъ сторонамъ, то есть:

Фиг. 480.

$$fC : CS = af : aS.$$

Полагая для краткости, что $ES = d$, $EC = r$ и $Ef = f$, будемъ имѣть:

$$r - f : d - r = af : aS. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

Величины af и aS вообще выражаются очень сложно посредствомъ количествъ d, r и угла aSE. Въ частномъ случаѣ, когда лучи, падающіе на зеркало, очень близки къ главной оптической оси или, что все равно,

когда aE очень мало, зависимость между этими величинами упрощается. Такъ какъ въ практикѣ только этотъ случай имѣетъ мѣсто, то мы однимъ имъ и займемся. Тогда безъ ощутительной погрѣшности можно допустить, что $af=Ef=f$, и $aS=ES=d$; чрезъ это предыдущая пропорція приметъ видъ:

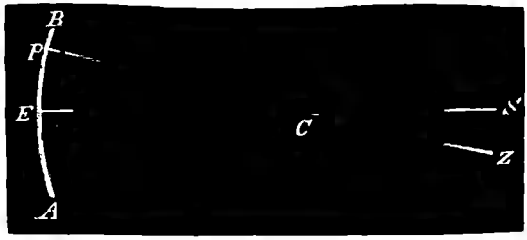
$$r-f:d-r=f:d,$$

откуда

$$(r-f)\,d=(d-r)\,f.$$

Изъ этого равенства выходитъ формула

$$f=\frac{rd}{2d-r}, \quad . \; . \; (2)$$



Фиг. 478.

изъ которой можно вычислить фокусное разстояніе, зная r и d.

Употребляя подобныя сужденія для какого нибудь другаго луча Sb, мы получили бы ту же величину f, потому что f зависитъ только отъ d и r, которыя для всѣхъ лучей постоянны. Слѣдовательно, всѣ лучи, упавшіе на зеркало не далеко отъ его середины, пересѣкаютъ главную оптическую ось на одномъ и томъ же разстояніи отъ зеркала, и, значитъ, должны пересѣкаться послѣ отраженія, въ одной точкѣ.

Выводъ этотъ можно было предвидѣть ранѣе, именно въ ту пору, когда, говоря о величинахъ af и aS, входящихъ въ пропорцію (1), мы допустили, что первая равна f, а вторая d, и, слѣдовательно, для всѣхъ лучей постоянны; а это — то же самое, что предположить независимость этихъ величинъ отъ угла aSE или, что онѣ зависятъ только отъ r и d. Обратясь потомъ къ той же пропорціи, мы увидѣли бы, что и f выражается только чрезъ r и d и что, слѣдовательно, всѣ отраженные лучи пересѣкаются въ одной точкѣ.

Что касается лучей, падающихъ на края зеркала, то направленіе ихъ можно опредѣлить, выразивъ точно количества af и aS посредствомъ r, d и $\angle\, aSE$; тогда мы нашли бы, что эти лучи послѣ отраженія пересѣкаютъ оптическую ось ближе къ зеркалу, нежели тѣ лучи, которые падаютъ на середину зеркала.

Еслибы мы могли помѣститься въ O (фиг. 479), между зеркаломъ и фокусомъ, не заслоняя собою лучей, идущихъ отъ свѣтящейся точки S, и обратились къ зеркалу, то, находясь подъ впечатлѣніемъ сходящихся лучей, ничего бы не увидѣли. Напротивъ, если глазъ будетъ въ O', по другую сторону фокуса, то мы получимъ впечатлѣніе расходящихся лучей, и намъ покажется въ f, на пересѣченіи лучей, свѣтящаяся точка, хотя на самомъ дѣлѣ ее тамъ нѣтъ.

Формула (2) можетъ быть представлена въ болѣе простомъ видѣ. Изъ ея имѣемъ:

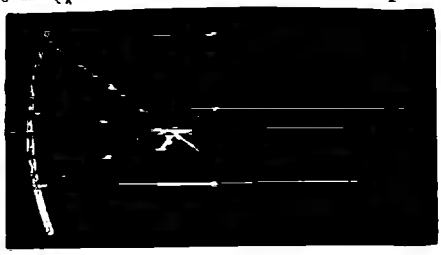
$$dr+fr=2fd;$$

отсюда, по раздѣленіи на rdf получимъ:

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{2}{r}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

339. Перемѣщеніе фокуса. Съ измѣненіемъ положенія свѣтящейся точки на главной оптической оси, перемѣщается и фокусъ лучей.

Пусть на зеркало падаютъ лучи, параллельные главной оптической оси (фиг. 481), или, что все равно, пусть свѣтящаяся точка находится на безконечно большомъ разстояніи; для опредѣленія въ этомъ случаѣ фокуснаго разстоянія, которое назовемъ чрезъ F, надо поставить въ формулѣ (2) на мѣсто d безконечно большую величину; тогда получимъ неопредѣленное выраженіе:



Фиг. 481.

$$F=\frac{\infty}{\infty}.$$

Чтобы избѣжать неопредѣленности, раздѣлимъ на d числителя и знаменателя формулы (2), которая отъ этого представится подъ видомъ:

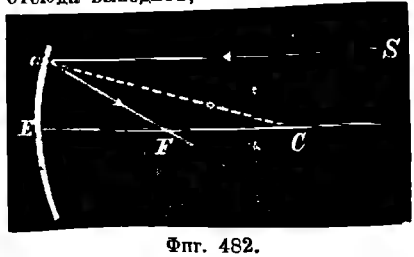
$$F=\frac{r}{2-\frac{r}{d}}.$$

Если теперь положимъ $d=\infty$, то найдемъ:

$$F=\frac{r}{2}$$

Итакъ, лучи, параллельные главной оптической оси, пересѣкаются, послѣ отраженія, въ точкѣ F, лежащей на серединѣ радіуса; эта точка называется *главнымъ фокусомъ*, а разстояніе ея отъ зеркала — *главнымъ фокуснымъ разстояніемъ*. Слѣдовательно, *главное фокусное разстояніе вогнутаго сферическаго зеркала равно половинѣ радіуса.*

Въ томъ же самомъ можно убѣдиться помощію весьма простыхъ соображеній. Пусть Sa (фиг. 482) есть одинъ изъ лучей, параллельныхъ главной оптической оси. Послѣ отраженія, онъ пойдетъ по aF, такъ что уголъ паденія SaC, составленный этимъ лучомъ съ радіусомъ Ca, будетъ равенъ углу отраженія CaF. Но такъ какъ $\angle SaC=\angle aCF$, то $\angle aCF=\angle CaF$; отсюда выходитъ, что $aF=FC$, какъ стороны одного и того же треугольника, противолежащія равнымъ угламъ. Если лучъ Sa падаетъ весьма близко отъ главной оптической оси, то безъ ощутительной погрѣшности можно принять, что $EF=aF$, и, слѣдовательно, $EF=FC$, то есть главное фокусное разстояніе равно половинѣ радіуса зеркала.



Фиг. 482.

Изъ равенствъ: (3) и $F=\frac{r}{2}$ находимъ:

$$\frac{1}{f}+\frac{1}{d}=\frac{1}{F}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Если радіусъ зеркала неизвѣстенъ, то для опредѣленія главнаго фокуснаго разстоянія обращаютъ зеркало къ солнцу, котораго разстояніе отъ насъ можно считать безконечно великимъ, и, направивъ отраженные лучи на бумагу, получаютъ на ней свѣтлый кружокъ; послѣдній, при нѣкоторомъ разстояніи бумаги отъ зеркала, будетъ имѣть наименьшую величину; здѣсь находится главный фокусъ; измѣривъ тогда разстояніе бумаги отъ зеркала, найдемъ главное фокусное разстояніе.

Если свѣтящаяся точка приближается изъ безконечно большого разстоянія къ зеркалу, то углы паденія SaC, SbC и ScC (фиг. 479) уменьшаются, такъ же какъ и равные имъ углы отраженія Caf, Cbf, Ccf, и точка f удаляется отъ зеркала.

Когда свѣтящаяся точка находится въ центрѣ зеркала, то лучи идутъ по направленію радіусовъ и, слѣдовательно, падаютъ на зеркало перпендикулярно къ его поверхности; они отражаются назадъ по тому же самому направленію и снова пересѣкаются въ центрѣ. Такимъ образомъ, если свѣтящаяся точка совпадаетъ съ центромъ, то здѣсь же находится и фокусъ лучей.

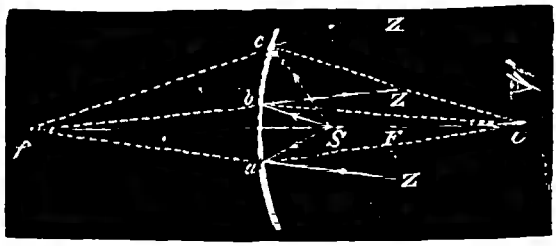
Фиг. 483.

Если точку S перемѣстить въ f, то углы паденія сдѣлаются углами отраженія, и наоборотъ, а потому фокусъ лучей будетъ въ S, то есть, когда свѣтящаяся точка станетъ на мѣсто фокуса, то фокусъ лучей перемѣстится туда, гдѣ прежде была свѣтящаяся точка. На этомъ основаніи, свѣтящуюся точку и фокусъ ея называютъ *сопряженными фокусами*. Слѣдовательно, когда свѣтящаяся точка S (фиг. 483) находится между главнымъ фокусомъ F и центромъ C, то фокусъ лучей f помѣщается за центромъ.

При движеніи свѣтящейся точки S отъ центра зеркала до главнаго фокуса, углы паденія и равные имъ углы отраженія увеличиваются, и фокусъ лучей f удаляется отъ зеркала.

Когда свѣтящаяся точка придетъ въ главный фокусъ (фиг. 484), то углы паденія и отраженія сдѣлаются еще болѣе. Отраженные лучи будутъ тогда параллельны главной оптической оси, потому что если свѣтящаяся точка изъ безконечно большого разстоянія (фиг. 481) перейдетъ въ главный фокусъ, то фокусъ лучей долженъ перейти на мѣсто свѣтящейся точки.

Когда свѣтящаяся точка еще подвинется къ зеркалу, то есть станетъ между главнымъ фокусомъ и зеркаломъ, то углы паденія SaC, SbC и ScC (фиг. 485) и углы отраженія ZaC, ZbC и ZcC сдѣлаются такъ велики, что отраженные лучи aZ, bZ и cZ будутъ расходящіеся. Глазу, испытывающему впечатлѣніе такихъ лучей, покажется, что онъ видитъ въ f, на пересѣченіи продолженій ихъ, свѣтящуюся точку. Точка f называется *мнимымъ фокусомъ*, потому что здѣсь нѣтъ дѣйствительнаго пересѣченія лучей, и, слѣдовательно, нѣтъ точки, изъ которой бы лучи въ самомъ дѣлѣ выходили.



Фиг. 485.

Что продолженія лучей aZ, bZ, cZ пересѣкаются къ одной точкѣ f, можно убѣдиться либо построеніемъ, либо сужденіями, подобными предыдущимъ [338].

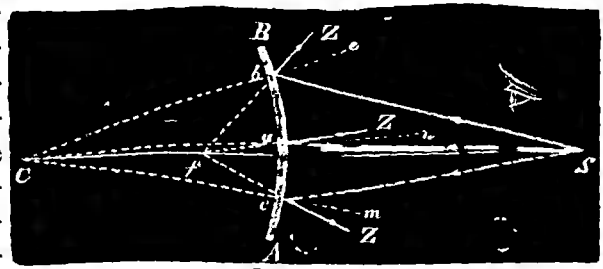
Соображая все сказанное, приходимъ къ такому заключенію:

Когда свѣтящаяся точка приближается изъ безконечно большого разстоянія къ главному фокусу, то фокусъ лучей перемѣщается отъ главнаго фокуса до безконечно большого разстоянія, встрѣчаясь съ свѣтящейся точкой въ центрѣ зеркала; когда свѣтящаяся точка станетъ между главнымъ фокусомъ и зеркаломъ, то лучи, послѣ отраженія, будутъ расходящіеся.

Приложенія. Вогнутыя зеркала употребляются для передачи освѣщенія на весьма большое разстояніе. Для этого, въ главномъ фокусѣ помѣщаютъ источникъ свѣта; отраженные лучи, какъ взаимно параллельные, не будутъ ослабляться на разстояніи, если только средина совершенно прозрачна. Такъ поступаютъ при освѣщеніи длинныхъ коридоровъ, лѣстницъ; также въ общественныхъ экипажахъ, пароходахъ, маякахъ, въ которыхъ свѣтъ лампы, передаваемый на огромныя разстоянія, предупреждаетъ столкновенія.

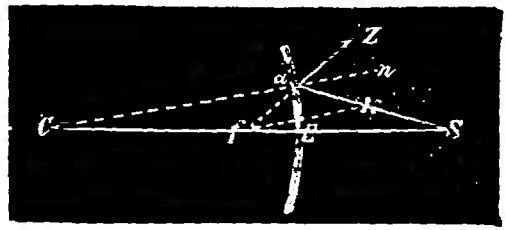
340. Фокусъ лучей въ выпукломъ зеркалѣ. Пусть AB (фиг. 486) изображаетъ выпуклое зеркало, C—его центръ, S—свѣтящуюся точку, лежащую на главной оптической оси SC. Проведемъ радіусы Ca, Cb и Cc и продолжимъ ихъ за зеркало; лучи Sa, Sb и Sc, падая подъ углами San, Sbe и Scm, отражаются потомъ по линіямъ aZ, bZ и cZ, такъ что углы паденія $\angle Scm$, $\angle San$ и $\angle Sbe$ равны угламъ

отраженія $\angle Zcm$, $\angle Zan$ и $\angle Zbe$. Въ какомъ бы разстояніи отъ зеркала точка S ни находилась, всегда отраженные лучи будутъ расходящіеся; центральные лучи кажутся выходящими изъ одной и той же точки f, лежащей за зеркаломъ; лучи, падающіе на края зеркала, пересѣкаютъ оптическую ось ближе къ зеркалу.



Фиг. 486.

Для доказательства вообразимъ только одинъ лучъ Sa (фиг. 487), и пусть онъ отразится по aZ. Продолжимъ его до пересѣченія въ f съ главной оптической осью и проведемъ изъ f линію fK, параллельную Ca; тогда получимъ:



Фиг. 487.

$$CS : Cf = aS : aK.$$

Положимъ, что

$SE = d$, $CE = r$ и $fE = f$, найдемъ:

$$r + d : r - f = aS : aK \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (5)$$

Разсмотримъ только лучи, падающіе очень близко отъ середины зеркала; тогда безъ ощутительной погрѣшности можно положить aS равнымъ d. Кромѣ того, $\angle fKa = \angle Kan = \angle naZ = \angle afK$, откуда слѣдуетъ, что линіи aK и af равны между собою, какъ стороны одного и того же треугольника, противолежащія равнымъ угламъ. Точка a лежитъ, по условію, близко отъ зеркала, и потому можно допустить, что $af = fE = f$. Вслѣдствіе этихъ замѣчаній, пропорція (5) принимаетъ видъ:

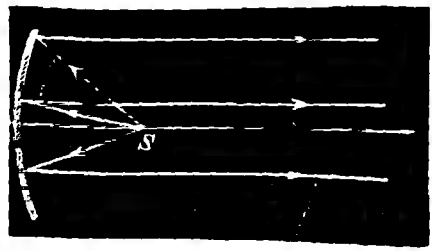
$$r + d : r - f = d : f.$$

Отсюда

$$(r + d) f = (r - f) d$$

и наконецъ,

$$f = \frac{rd}{2d + r} \quad . \; . \; . \; . \quad (6)$$



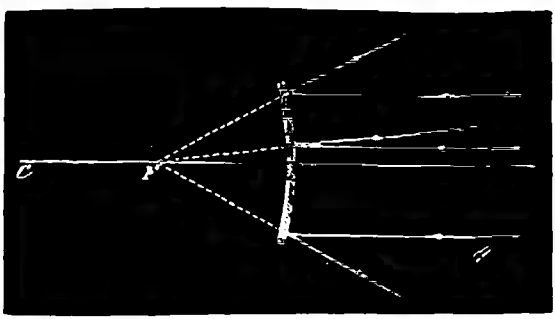
Фиг. 484.

Какой бы лучъ, выходящій изъ S, мы ни разсматривали, количество f сохранитъ свою величину, потому что зависитъ только отъ r и d—величинъ постоянныхъ для всѣхъ лучей. Итакъ, лучи, послѣ отраженія, кажутся выходящими изъ одной и той же точки, лежащей за зеркаломъ на главной оптической оси. Кромѣ того, такъ

какъ r и d суть величины положительныя, то и f сохраняетъ одинъ и тотъ же знакъ, а потому лучи, послѣ отраженія, всегда остаются расходящимися.

Глазу будетъ казаться, что онъ видитъ въ f (фиг. 487) свѣтящуюся точку. Точка f называется *мнимымъ фокусомъ*, потому что здѣсь нѣтъ дѣйствительнаго пересѣченія лучей.

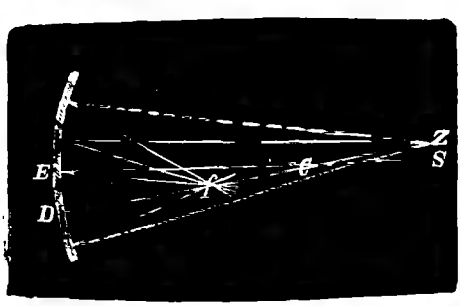
Если свѣтящаяся точка (фиг. 488) находится въ безконечно большомъ разстояніи, то, раздѣливъ числителя и знаменателя формулы (6) на d и положивъ потомъ $d=\infty$, найдемъ, что $f=\frac{r}{2}$, то есть лучи, параллельные главной оптической оси, отражаются такъ, какъ будто бы они выходили изъ точки F, лежащей за зеркаломъ на серединѣ радіуса; эта точка называется главнымъ фокусомъ, а разстояніе ея отъ зеркала — главнымъ фокуснымъ разстояніемъ.



Фиг. 488.

При движеніи точки изъ безконечно большого разстоянія до зеркала, углы паденія увеличиваются (фиг. 486), а вмѣстѣ съ ними и углы отраженія, какъ имъ равные, и фокусъ приближается къ зеркалу.

341. Отраженіе свѣта относительно побочной оптической оси. Законы, относящіеся до отраженія свѣта отъ сферическаго зеркала, когда свѣтящаяся точка находится на главной оптической оси, справедливы также и въ томъ случаѣ, когда эта точка лежитъ въ Z (фиг. 489) на побочной оси ZD, потому что побочная оптическая ось ничѣмъ отъ главной оси SE не отличается: она такъ же, какъ и главная ось, проходитъ чрезъ свѣтящуюся точку и центръ C зеркала и такъ же перпендикулярна къ поверхности зеркала въ точкѣ D. Поэтому, употребляя тѣ же сужденія, какія были сдѣланы, когда свѣтящаяся точка находилась на главной оси, найдемъ, что всѣ лучи, выходящіе изъ точки Z, лежащей на побочной оси, пересѣкутъ эту ось, послѣ отраженія, въ нѣкоторой точкѣ f, на одномъ и томъ же разстояніи отъ зеркала.

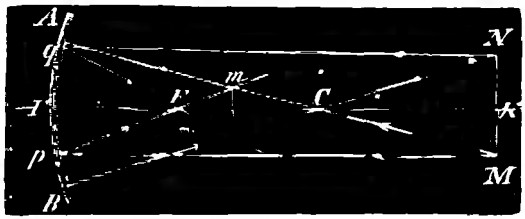


Фиг. 489

342. Построеніе изображеній въ вогнутомъ зеркалѣ. Умѣя находить фокусъ точки, лежащей внѣ главной оптической оси, не трудно показать, какъ отражается цѣлый предметъ въ сферическомъ зеркалѣ: стоитъ только опредѣлить фокусъ каждой точки тѣла.

Разсмотримъ предметъ въ трехъ положеніяхъ передъ вогнутымъ зеркаломъ.

1) Пусть тѣло MN (фиг. 490) находится предъ зеркаломъ AB въ разстояніи больше радіуса. Чтобы найти фокусъ какой нибудь точки этого предмета, напр. точки M, надо найти точку взаимнаго пересѣченія двухъ лучей, вышедшихъ изъ точки M и отраженныхъ потомъ зеркаломъ. Возьмемъ такіе лучи, которыхъ направленія, послѣ отраженія, извѣстны: лучъ, идущій по побочной оптической оси и параллельный главной оптической оси. Лучъ Mq, идущій по направленію побочной оптической оси, отразится назадъ по тому же направленію, какъ перпендикулярный къ зеркалу; лучъ Mp, параллельный главной оптической оси KE, отразится чрезъ главный фокусъ и пересѣчетъ отраженный лучъ mq въ m. Въ этой точкѣ должны собраться всѣ лучи, падающіе изъ M на зеркало [338]. Если будемъ смотрѣть на m со стороны предмета, то глазъ будетъ находиться подъ впечатлѣніемъ расходящихся лучей, и намъ покажется, что въ m мы видимъ точку M. Подобнымъ образомъ можно построить изображеніе и точки N; прочія точки изображенія предмета MN будутъ находиться между n и m. Въ nm будемъ видѣть изображеніе предмета, если помѣстить глазъ на той же сторонѣ, на которой находится самый предметъ, чтобы лучи были расходящіеся. Если въ томъ мѣстѣ, гдѣ получилось изображеніе, поставимъ бумагу, то всѣ лучи, исходящіе изъ какой либо точки M предмета и упавшіе на зеркало, отразятся въ одну и ту же точку m бумаги; точка m будетъ разбрасывать сосредоточенные на ней лучи во всѣ стороны, а потому глазъ, при всякомъ его положеніи, долженъ видѣть въ m свѣтящуюся точку, такъ же освѣщенную и окрашенную, какъ и точка M. То же самое относится ко всякой другой точкѣ предмета MN. Такимъ образомъ, въ mn является изображеніе въ видѣ картины, нарисованной на бумагѣ, со всѣми оттѣнками и цвѣтами, свойственными предмету MN.



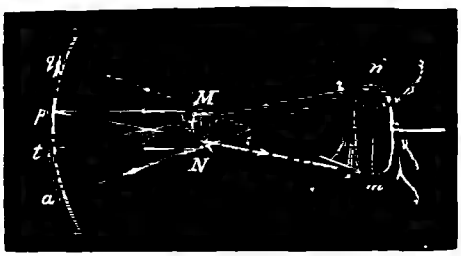
Фиг. 490.

Легко видѣть изъ чертежа, что изображеніе въ томъ случаѣ на-

*

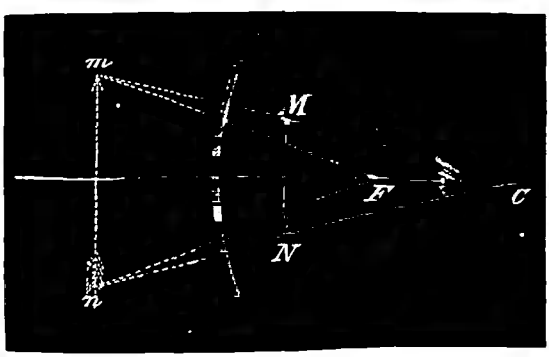
ходится между главнымъ фокусомъ и центромъ; оно обратное и уменьшенное.

2) Помѣстимъ предметъ MN (фиг. 491) между главнымъ фокусомъ и центромъ и проведемъ изъ точки M два луча: одинъ по направленію радіуса Mq, другой Mp параллельно главной оптической оси; первый отразится назадъ по тому же направленію, второй пройдетъ чрезъ главный фокусъ F; оба пересѣкутся въ точкѣ m, куда отразятся и прочіе лучи, падающіе изъ точки M на зеркало. Подобнымъ образомъ построятся изображенія точки N и всѣхъ прочихъ точекъ, лежащихъ между N и M. Очевидно и здѣсь изображеніе можетъ быть принято на бумагу. Изъ фигуры можно заключить, что изображеніе находится за центромъ; оно обратное и увеличенное.



Фиг. 491.

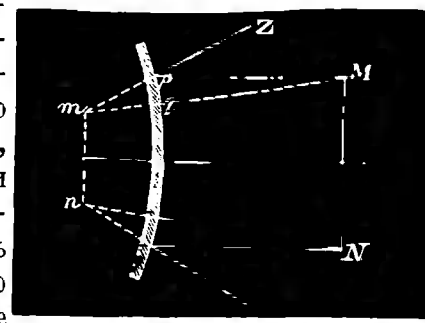
3) Наконецъ, поставимъ предметъ MN между главнымъ фокусомъ и зеркаломъ (фиг. 492). Проведемъ, какъ и прежде, изъ точки M два луча, по направленію радіуса и параллельно главной оптической оси; первый отразится назадъ по радіусу, а другой пройдетъ чрезъ главный фокусъ. Глазъ будетъ находиться подъ впечатлѣніемъ расходящихся лучей, и ему покажется въ точкѣ m, на пересѣченіи лучей за зеркаломъ, изображеніе точки M. Подобнымъ образомъ найдемъ, что и весь предметъ отразится за зеркаломъ въ положеніи mn. Изображеніе въ этомъ случаѣ отличается отъ двухъ предыдущихъ тѣмъ, что оно не можетъ быть принято на бумагу, потому что здѣсь нѣтъ дѣйствительнаго пересѣченія лучей, — и называются поэтому *мнимымъ*; оно прямое и увеличенное.



Фиг. 492.

343. Построеніе изображеній въ выпукломъ зеркалѣ. При построеніи изображеній въ выпукломъ зеркалѣ можетъ представиться только одинъ случай. Пусть, въ самомъ дѣлѣ, предметъ MN

(фиг. 493) находится предъ зеркаломъ. Проведемъ изъ M два луча: одинъ Mq по направленію радіуса, другой Mp параллельно главной оптической оси; первый отразится назадъ по тому же направленію, второй будетъ отклоненъ отъ главной оптической оси и пойдетъ по pZ. Глазъ, находясь подъ впечатлѣніемъ расходящихся лучей, увидитъ въ m изображеніе M и вообще въ mn изображеніе всего предмета MN. Легко видѣть, что, въ какомъ бы разстояніи отъ зеркала предметъ ни находился, изображеніе всегда будетъ за зеркаломъ; слѣдовательно, оно мнимое. Кромѣ того, оно прямое и уменьшенное, и тѣмъ меньше, чѣмъ предметъ далѣе отъ зеркала.



Фиг. 493.

344. Аберрація. Если лучи Sa и Sb (фиг. 494), выходящіе изъ свѣтящейся точки S, падаютъ на зеркало чрезвычайно близко отъ его середины E, то собираются въ одной точкѣ [338] f; всѣ же прочіе лучи пересѣкаются тѣмъ ближе къ зеркалу, чѣмъ они болѣе отклонены отъ главной оптической оси; такимъ образомъ, лучи SA и SB, падающіе на края зеркала, пересѣкутъ главную оптическую ось ближе всѣхъ прочихъ лучей къ зеркалу, напр. въ точкѣ g. Вслѣдствіе этого, отраженные лучи не собираются въ какой либо одной точкѣ, но наполняютъ собою болѣе или менѣе значительное пространство, котораго наименьшій поперечный разрѣзъ будетъ между g и f. Если въ этомъ мѣстѣ держать бумагу, то на ней получится кружокъ—тѣмъ большій, чѣмъ болѣе размѣры зеркала въ сравненіи съ его радіусомъ. Если вмѣсто точки S передъ зеркаломъ будетъ предметъ, то на бумагѣ, помѣщенной въ фокусѣ, явится столько кружковъ, сколько въ предметѣ точекъ; одинъ кружокъ будетъ захватывать другой, и слѣдовательно, изображеніе предмета будетъ не ясно. Это явленіе неясности изображеній, производимыхъ сферическими зеркалами, называется *сферическою аберраціею*.

Фиг. 494.

Можно приготовить зеркало, ограниченное такою поверхностью, что оно не будетъ давать никакой аберраціи, т. е. лучи послѣ отраженія будутъ всѣ собираться въ одной точкѣ. Для этого нужно только разогнуть нѣсколько края зеркала. Тогда, въ случаѣ параллельныхъ лучей, получится, вмѣсто сферической поверхности, другая, извѣстная подъ названіемъ *параболоида вращенія*; для расходящихся лучей нужно зеркалу дать видъ *эллипсоида вращенія*. Во всѣхъ приборахъ, гдѣ требуются отчетливыя изображенія, употребляются только такія зеркала. Приготовленіе ихъ сопряжено съ большими затрудненіями.

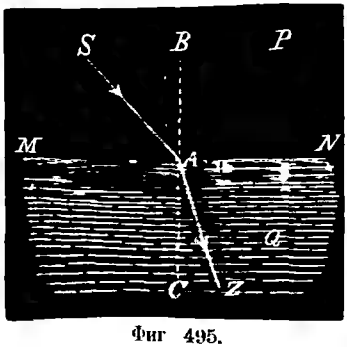
345. Отраженіе въ цилиндрическихъ и коническихъ зеркалахъ. Выпуклое цилиндрическое зеркало можно разсматривать какъ согнутое плоское, а потому по направленію высоты цилиндра оно дѣйствуетъ какъ плоское зеркало, а по направленію перпендикулярному—какъ сферическое выпуклое. По этой причинѣ, предметъ по направленію, параллельному высотѣ цилиндра, кажется естественной величины [333], а по перпендикулярному—вездѣ одинаково сжатъ [343]. Подобное дѣйствіе замѣчается и въ выпукломъ зеркалѣ, ошлифованномъ въ видѣ прямого конуса. По направленію производящей линіи конуса оно дѣйствуетъ какъ плоское зеркало, а по направленію перпендикулярному—какъ сферическое выпуклое. Но поверхность конуса изогнута болѣе у вершины, нежели у основанія; слѣдовательно, по направленію производящей линіи изображеніе равно предмету, а по направленію перпендикулярному сжато, и тѣмъ сильнѣе, чѣмъ оно ближе къ вершинѣ конуса.

Можно нарисовать картину, представляющую какой либо предметъ въ безобразномъ видѣ, и при томъ такъ, что будучи поставлена предъ однимъ изъ зеркалъ: цилиндрическимъ, или коническимъ, она дастъ натуральную фигуру предмета. Такія картины называются *анаморфическими*.

Преломленіе свѣта.

346. Преломленіе свѣта. Въ однородной срединѣ лучи свѣта распространяются по прямымъ линіямъ [326], но при переходѣ изъ одной средины въ другую уклоняются отъ своего направленія; это явленіе называется *преломленіемъ свѣта*.

Пусть напр. лучъ свѣта SA (фиг. 495) падаетъ изъ средины P на средину Q, отдѣленную отъ первой плоскостью MN; поставивъ къ MN перпендикуляръ AB, получимъ уголъ SAB, называемый *угломъ паденія* луча. Достигнувъ средины Q, лучъ SA частію отражается, частію вступаетъ въ средину, гдѣ продолжаетъ свой путь по прямой линіи AZ; уголъ ZAC, образованный лучемъ AZ и AC, продолженіемъ перпендикуляра AB,



Фиг 495.

называется *угломъ преломленія*. Явленіе преломленія заключается въ томъ, что углы SAB и ZAC не равны, или, что все равно, линія SAZ есть не прямая, а ломаная.

При переходѣ луча изъ пустоты въ средину, уголъ паденія болѣе угла преломленія; въ обратномъ случаѣ, то есть, когда лучъ идетъ изъ средины въ пустоту, уголъ паденія менѣе угла преломленія. Лучъ не преломляется, если падаетъ на поверхность перпендикулярно.

Законы преломленія свѣта. Декартъ нашелъ слѣдующіе законы преломленія свѣта:

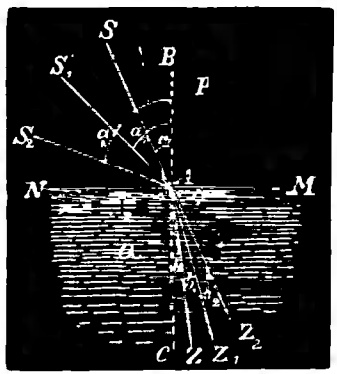
1) *Лучъ падающій и преломленный находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ, поставленнымъ въ точкѣ паденія луча, къ плоскости, на которую этотъ лучъ падаетъ.*

2) *Синусъ угла паденія съ синусомъ угла преломленія находятся въ постоянномъ отношеніи для одной и той же средины.* Вотъ какъ должно понимать этотъ послѣдній законъ. Пусть (фиг. 496) на средину Q изъ пустоты P падаетъ лучъ SA; войдя въ средину, онъ приблизится къ перпендикуляру и пойдетъ по AZ; пусть еще на ту же точку A падаютъ лучи свѣта S_1A, S_2A,.., они пойдутъ въ срединѣ соотвѣтственно по направленіямъ AZ_1, AZ_2.... Если положимъ для краткости углы: $BAS=a$, $BAS_1=a_1$, $BAS_2=a_2$,.. $CAZ=b$, $CAZ_1=b_1$ $CAZ_2=b_2$..., то разсматриваемый законъ выразится рядомъ равныхъ отношеній:

$$\frac{\operatorname{Sin} a}{\operatorname{Sin} b}=\frac{\operatorname{Sin} a_1}{\operatorname{Sin} b_1}=\frac{\operatorname{Sin} a_2}{\operatorname{Sin} b_2}= \ldots .$$

Назвавъ постояннаго знаменателя отношенія чрезъ m, получимъ:

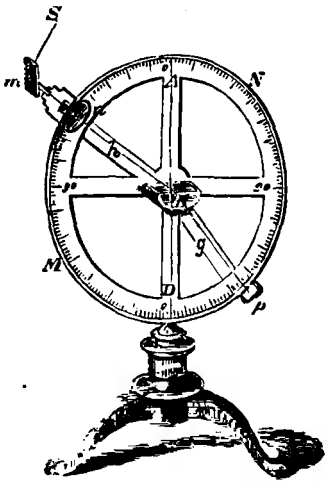
$$\frac{\operatorname{Sin} a}{\operatorname{Sin} b}=m.$$



Фиг. 496.

Величина m называется *показателемъ преломленія*; она болѣе единицы, потому что, при переходѣ луча изъ пустоты въ средину, уголъ паденія болѣе угла преломленія, и имѣетъ разную величину для разныхъ срединъ. Для воды приближенная величина показателя преломленія есть $^4/_3$, стекла—$^3/_2$, алмаза—$^5/_2$; хромовосвинцовая соль имѣетъ самого большого показателя преломленія, именно 3.

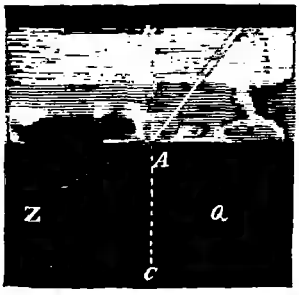
Указанные законы преломленія свѣта можно повѣрить на слѣдующемъ приборѣ. Въ центрѣ вертикальнаго круга MN (фиг. 497), раздѣленнаго на градусы, утверждаютъ полуцилиндрическій сосудъ B, въ который наливаютъ воды, такъ что ось цилиндра и центръ круга ле-



Фиг. 497.

жать на уровнѣ жидкости. Помощію зеркала m, направляютъ лучъ S чрезъ отверстіе, сдѣланное въ пластинкѣ n, на поверхность воды въ центръ круга MN. Войдя въ жидкость, лучъ приближается къ отвѣсной линіи AD, но при выходѣ изъ воды не преломляется, потому что падаетъ перпендикулярно къ цилиндрической стѣнкѣ сосуда; потомъ, онъ даетъ на пластинкѣ p изображеніе отверстія n. Пластинка n, вмѣстѣ съ зеркаломъ m, прикрѣплена къ линейкѣ h вращающейся около центра круга; равнымъ образомъ пластинка p, можетъ двигаться, вмѣстѣ съ линейкой g, около той же точки. Устанавливая произвольно линейку h и помѣщая пластинку p такъ, чтобы на ней получалось изображеніе отверстія n, найдемъ каждый разъ, что синусъ угла паденія ABn съ синусомъ угла преломленія DBp имѣютъ постоянное отношеніе, равное показателю преломленія воды.

3) Если лучъ идетъ изъ средины въ пустоту, то предыдущіе законы также имѣютъ мѣсто, съ тою только разницею, что отношеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія менѣе 1 и равно дроби, у которой числитель есть 1, а знаменатель равенъ показателю преломленія средины. Пусть лучъ SA (фиг. 498) идетъ изъ средины P въ пустоту Q; войдя въ послѣднюю, онъ удалится отъ перпендикуляра BC; назвавъ уголъ паденія BAS чрезъ a, а уголъ преломленія CAZ чрезъ b, получимъ:



Фиг. 498.

$$\frac{\text{Sin } a}{\text{Sin } b} = \frac{1}{m}.$$

4) Лучъ свѣта, при переходѣ изъ одной средины въ другую, также преломляется: онъ приближается къ перпендикуляру, если идетъ изъ средины менѣе преломляющей въ болѣе преломляющую, и наоборотъ. Отношеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія есть величина постоянная; она называется *относительнымъ* показателемъ преломленія, въ отличіе отъ того показателя, который имѣетъ мѣсто при переходѣ луча изъ пустоты въ средину и называется *абсолютнымъ*.

Относительный показатель преломленія равенъ показателю преломленія средины, въ которую лучъ вступаетъ, раздѣленному на показателя преломленія средины, изъ которой онъ выходитъ. Такъ, относительный показатель преломленія, при переходѣ луча изъ воды въ стекло, равенъ $^9/_8$, а при обратномъ направленіи $^8/_9$. Въ большей части случаевъ приходится наблюдать относительное преломленіе, потому что лучъ, чтобы достигнуть какой либо средины, долженъ пройти сначала чрезъ воздухъ; для полученія абсолютнаго показателя надо относительный показатель средины умножить на абсолютнаго показателя воздуха.

Приложенія. Преломленіемъ свѣта объясняются многія явленія. Пусть въ сосудъ A (фиг. 499) налита вода; изъ точки M, лежащей на днѣ его, будутъ выходить, между прочими, лучи Ma и Mb, которые при выходѣ изъ жидкости отклонятся отъ перпендикуляра и сдѣлаются еще болѣе расходящимися; всѣ прочіе, смежные съ этими, лучи будутъ, повидимому, выходить изъ одной и той же точки m; глазъ, помѣщенный въ O, увидитъ въ m точку M, то есть выше ея дѣйствительнаго положенія. Если глазъ изъ O, перейдетъ въ другую точку, то изображеніе M также перемѣстится, потому что кажущееся пересѣченіе лучей, которые тогда попадутъ на глазъ, будетъ не въ m, а въ другомъ мѣстѣ. Подобное явленіе замѣчается, если смотрѣть на дно рѣки, или какого нибудь другого водоема; тогда кажется, что наибольшая глубина находится непосредственно подъ нами.—Если опустить въ воду одинъ конецъ палки, то каждая точка погруженной части будетъ представляться выше своего дѣйствительнаго положенія, и палка покажется сломанною (фиг. 500).

Фиг. 499.

347. Полное внутреннее отраженіе. Пусть лучъ SA (фиг. 498) идетъ изъ средины P въ пустоту Q; назвавъ уголъ паденія SAB чрезъ a, уголъ преломленія CAZ—чрезъ b и показателя преломленія средины—чрезъ m, найдемъ:

$$\frac{\operatorname{Sin} a}{\operatorname{Sin} b} = \frac{1}{m},$$

откуда

$$\operatorname{Sin} b = m \operatorname{Sin} a. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (1)$$

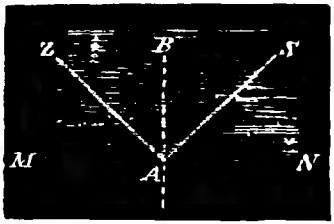
Если увеличивается уголъ паденія a, то вмѣстѣ съ тѣмъ возрастаетъ уголъ преломленія b, и притомъ быстрѣе, потому что приращеніе Sin b равно приращенію Sin a, умноженному на величину m, бо́льшую единицы. Равенство (1) можетъ служить для вычисле-

Фиг. 500.

нія угла b, если данъ уголъ a; однакожъ не для всякой величины a можно найти b; такъ напримѣръ, еслибы a равно было 90^0, то Sin b сдѣлался бы равнымъ m, чего быть не можетъ, потому что m болѣе 1. Самое большое значеніе, какое только a можетъ получить, опредѣляется изъ равенства:

$$m \operatorname{Sin} a = 1, \text{ откуда } \operatorname{Sin} a = \frac{1}{m} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

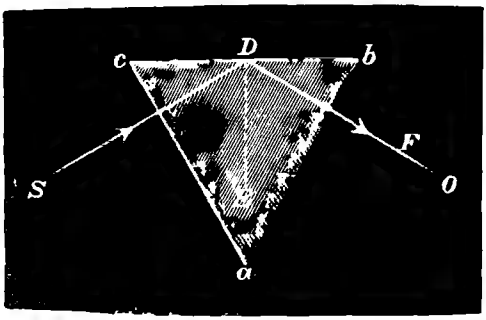
Пока уголъ a не перешелъ этой величины, уравненіе (1) выражаетъ законъ преломленія свѣта, а что будетъ послѣ того, можетъ рѣшить только опытъ; опытъ же показываетъ, что тогда лучъ SA не выходитъ изъ средины и отражается отъ поверхности MN (фиг. 501) какъ отъ зеркала, такъ что уголъ паденія SAB равенъ углу отраженія BAZ. Это явленіе называется *полнымъ внутреннимъ отраженіемъ*—*полнымъ* потому, что здѣсь почти весь свѣтъ отражается. Наименьшій изъ угловъ, при которыхъ оно возможно, называется *предѣльнымъ угломъ полнаго внутренняго отраженія*.



Фиг. 501.

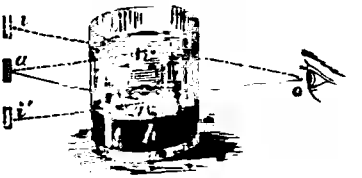
Величина предѣльнаго угла вычисляется по уравненію (2); она тѣмъ болѣе, чѣмъ показатель преломленія менѣе. Такъ, для хромово-свинцовой соли эта величина $19^0 28'$, алмаза — $23^0 55'$, сѣроуглерода—$36^0 35'$, стекла—$41^0 48'$, воды $48^0 35'$, воздуха—$88^0 38'$.

Чтобы убѣдиться изъ опыта въ существованіи полнаго внутренняго отраженія, возьмемъ кусокъ стекла, отшлифованный въ видѣ треугольной призмы (фиг. 502), и расположимъ его передъ глазомъ, какъ показано на фигурѣ. S представляетъ свѣтящуюся точку, abc—призму, O—глазъ. Если случится, что лучъ SD, вступивъ въ призму, упадетъ на грань cb подъ угломъ SDE, большемъ $41^0 48'$—предѣльнаго угла полнаго внутренняго отраженія стекла, то лучъ отразится отъ грани cb по направленію DF, какъ отъ плоскаго зеркала, и глазъ увидитъ мнимое изображеніе точки S.



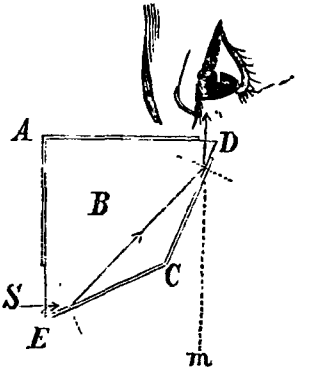
Фиг. 502.

Наливаютъ въ стаканъ (фиг. 503) воды h, а на нее—сѣрнаго эфира, и ставятъ въ a какой нибудь предметъ между уровнями n и n' обѣихъ жидкостей. Если глазъ находится въ o, по другую сторону стакана, то увидитъ чрезъ отраженіе отъ двухъ поверхностей два изображенія i и i'.



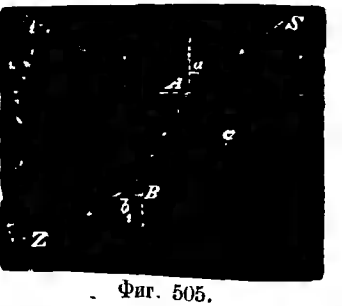
Фиг. 503.

348. Камера люцида. На полномъ внутреннемъ отраженіи основано устройство *камеры клары* или *камеры люциды*—снаряда, полезнаго при срисовываніи предметовъ съ натуры. Главная часть ея—четырехгранная стеклянная призма B (фиг. 504), которая располагается такъ, чтобы ребра ея были горизонтальны. Одинъ изъ ея угловъ A—прямой, другой C заключаетъ 135^0, прочіе два $\angle E$ и $\angle D$ дѣлаются равными, и потому каждый содержитъ $67^1/_2{}^0$. Пусть лучъ S, идущій отъ нѣкотораго предмета, падаетъ перпендикулярно на грань AE; онъ войдетъ въ призму безъ преломленія и, достигнувъ грани EC, образуетъ уголъ паденія, равный $\angle E$, и, слѣдовательно, $67^1/_2{}^0$. Такъ какъ предѣльный уголъ полнаго внутренняго отраженія для стекла равенъ $41^0\ 48'$, то лучъ отразится и упадетъ на вторую грань CD, подъ угломъ также равнымъ $67^1/_2{}^0$. Послѣ второго отраженія, лучъ упадетъ на грань AD перпендикулярно и выйдетъ изъ призмы безъ всякаго преломленія. Наблюдатель, получившій впечатлѣніе этого луча, увидитъ предметъ въ направленіи m. Глазъ надо помѣстить очень близко отъ края призмы, такъ чтобы половина зрачка смотрѣла въ призму, а другая видѣла руку съ карандашемъ, лежащую на бѣлой бумагѣ въ m; тогда можно будетъ обвести контуры предмета. Чтобы задержать посторонніе лучи, призму обкладываютъ металлическимъ листомъ, оставляя незакрытыми тѣ части ея, чрезъ которыя должны проходить лучи. Употребленіе камеры люциды требуетъ нѣкотораго навыка.



Фиг. 504.

329. Преломленіе свѣта въ срединахъ, ограниченныхъ параллельными плоскостями. Лучъ свѣта, по выходѣ изъ средины, ограниченной параллельными плоскостями и помѣщенной въ другой однородной средѣ (наприм. воздухѣ), параллеленъ тому направленію, которое онъ имѣлъ до вступленія въ средину. Пусть на средину q (фиг. 505), ограниченную параллельными плоскостями, падаетъ лучъ SA. Назвавъ уголъ паденія чрезъ a,



Фиг. 505.

*

уголъ преломленія — чрезъ b, показатель преломленія — чрезъ m, найдемъ:

$$\frac{\operatorname{Sin} a}{\operatorname{Sin} b} = m.$$

По выходѣ изъ средины, лучъ удалится отъ перпендикуляра. Означивъ чрезъ a_1 и b_1 углы паденія и преломленія, получимъ:

$$\frac{\operatorname{Sin} a_1}{\operatorname{Sin} b_1} = \frac{1}{m}.$$

Чрезъ перемноженіе между собою первыхъ частей двухъ послѣднихъ равенствъ, а также ихъ вторыхъ частей, будемъ имѣть:

$$\frac{\operatorname{Sin} a \operatorname{Sin} a_1}{\operatorname{Sin} b \operatorname{Sin} b_1} = 1,$$

или, принявъ во вниманіе, что $a_1 = b$, найдемъ:

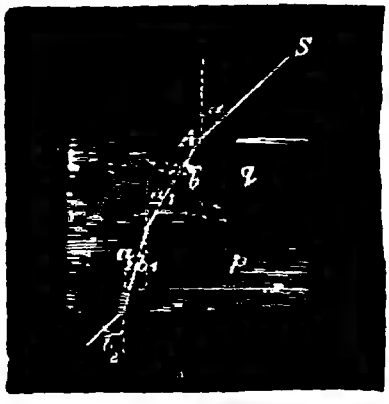
$$\operatorname{Sin} a = \operatorname{Sin} b_1,$$

откуда

$$a = b_1.$$

Слѣдовательно, направленіе BZ параллельно SA.

Подобное же явленіе замѣчается въ случаѣ многихъ срединъ.



Фиг. 506.

Пусть даны только двѣ средины, и пусть лучъ SA (фиг. 506) падаетъ сначала на пластинку q, которой абсолютный показатель есть m. Лучъ приблизится къ перпендикуляру и, достигнувъ второй средины p, снова измѣнитъ свое направленіе; приблизится ли онъ теперь, или удалится отъ перпендикуляра—зависитъ отъ относительнаго показателя преломленія этихъ срединъ, который назовемъ чрезъ s; обозначимъ еще чрезъ m_1 абсолютный показатель второй средины p. Выйдя изъ средины, лучъ удалится отъ перпендикуляра. Назвавъ углы паденія и преломленія чрезъ a, b, a_1, b_1, a_2, b_2, получимъ равенства:

$$\frac{\operatorname{Sin} a}{\operatorname{Sin} b} = m,$$

$$\frac{\operatorname{Sin} a_1}{\operatorname{Sin} b_1} = s,$$

$$\frac{\operatorname{Sin} a_2}{\operatorname{Sin} b_2} = \frac{1}{m_1}$$

Перемноживъ между собою эти равенства и замѣчая, что $b = a_1$, $b_1 = a_2$, $s = \frac{m_1}{m}$ [346], найдемъ:

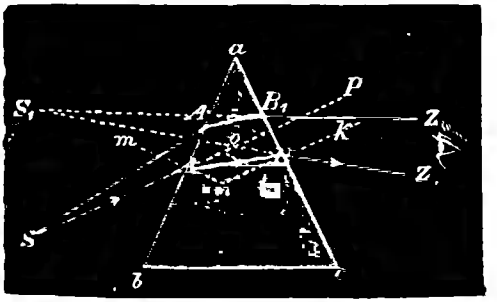
$$\frac{\operatorname{Sin} a}{\operatorname{Sin} b_2} = 1,$$

откуда

$$a = b_2.$$

350. Преломленіе луча въ трехгранной призмѣ. Разсѣчемъ плоскостью трехгранную призму перпендикулярно къ одному изъ ея реберъ mn (фиг. 507), мы получимъ въ разрѣзѣ треугольникъ (фиг. 508), который называется *главнымъ сѣченіемъ* призмы, точка a, пересѣченіе ребра mn (фиг. 507) съ этою плоскостью,—*вершиною*, линія mn—*преломляющимъ ребромъ*, а bc (фиг. 508)—*основаніемъ*. Пусть изъ свѣтящейся точки S, лежащей въ плоскости главнаго сѣченія призмы, падаетъ на грань призмы лучъ SA; онъ приблизится къ перпендикуляру mn и пойдетъ по AB; при выходѣ изъ призмы, онъ удалится отъ перпендикуляра kn и пойдетъ по BZ. Отсюда видимъ, что призма поворачиваетъ проходящіе чрезъ нее лучи отъ вершины къ основанію. Уголъ, составленный первоначальнымъ направленіемъ SP луча и новымъ BZ, или $\angle PoZ$, называется угломъ *отклоненія*. Величина его зависитъ отъ вещества призмы, преломляющаго угла a и угла паденія SAm. Съ возрастаніемъ показателя преломленія вещества призмы и ея преломляющаго угла, уголъ отклоненія увеличивается. По мѣрѣ уменьшенія угла паденія SAm, уголъ отклоненія уменьшается и достигаетъ наименьшей величины, когда $\angle SAm = \angle ZBk$. При дальнѣйшемъ измѣненіи угла SAm, отклоненіе возрастаетъ.

Фиг. 507.



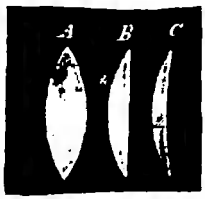
Фиг. 508.

Другой какой нибудь лучъ SA_1 пойдетъ, послѣ преломленія, по B_1Z_1, такъ что оба луча BZ и B_1Z_1, будутъ расходящіеся; глазъ, находясь подъ ихъ впечатлѣніемъ, увидитъ точку S въ S_1. Итакъ, предметы разсматриваемые чрезъ призму, обращенную преломляющимъ ребромъ вверхъ, кажутся намъ выше своего естественнаго положенія. Повернувъ призму преломляющимъ ребромъ внизъ, получимъ явленіе обратное предметы представятся ниже ихъ положенія.

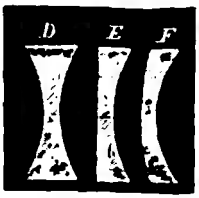
Если трехугольный флаконъ наполнить жидкостью, то получимъ жидкую призму; стѣнки флакона должны быть ограничены параллельными плоскостями.

Преломленіе свѣта въ сферическихъ стеклахъ.

351. Разные роды сферическихъ стеколъ. *Сферическими стеклами* или *оптическими чечевицами* называются прозрачныя средины, ограниченныя сферическими поверхностями. Они бываютъ 6 родовъ: *двояковыпуклое* (*A*) (фиг. 509), *плосковыпуклое* (*B*), *вогнутовыпуклое* (*C*), *двояковогнутое* (*D*) (фиг. 510), *плосковогнутое* (*E*) и *выпуклووогнутое* (*E*). Мы разсмотримъ преломленіе свѣта только въ стеклахъ: двояковыпукломъ и двояковогнутомъ.



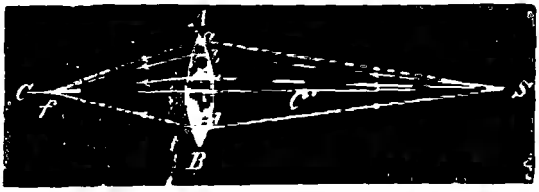
Фиг. 509.



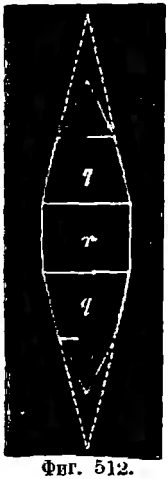
Фиг. 510.

Величина оптическихъ чечевицъ, употребляемыхъ въ практикѣ весьма мала сравнительно съ радіусами шаровыхъ поверхностей, которыми онѣ ограничены; такія стекла бываютъ вмѣстѣ съ тѣмъ весьма тонки.

352. Преломленіе въ двояковыпуклой чечевицѣ. Пусть *AB* (фиг. 511) двояковыпуклая чечевица а *C* и *C'*—центры шаровыхъ поверхностей, которыми она ограничена. Линія *SC*, проходящая чрезъ центры, называется *главною оптическою осью* стекла. Пусть изъ точки *S*, лежащей на главной оптической оси, выходятъ лучи *Sa*, *Sb*, *Sc*, *Sd*. Двояковыпуклое стекло можно разсматривать какъ бы состоящимъ изъ безчисленнаго множества кольцеобразныхъ призмъ *p*, *q*, *r* (фиг. 512), обращенныхъ вершинами къ краямъ стекла, и которыхъ преломляющій уголъ увеличивается отъ середины къ окружности; такъ, уголъ призмы *p* болѣе угла усѣченной призмы *q*. Отъ этого, края стекла преломляютъ сильнѣе середины. Лучи *Sa*, *Sb*, *Sc*, *Sd* (фиг. 511), при прохожденіи чрезъ стекло, поворачиваются къ главной оптической оси. Хотя лучъ *Sa*, болѣе отклоненъ отъ оси, нежели лучи *Sb* и *Sc*, но, падая на часть стекла, болѣе преломляющую, сильнѣе поворачиваются, такъ что всѣ лучи, пройдя чрезъ двояковыпуклое стекло, собираются приблизительно въ одной точкѣ *f*, которая называется *фокусомъ*.



Фиг. 511.



Фиг. 512.

Для доказательства, вообразимъ двояковыпуклое стекло (фиг. 513), на которое падаетъ лучъ SA изъ свѣтящейся точки S, лежащей на главной оптической оси стекла. Проведя радіусъ C_1A изъ C_1, центра шаровой поверхности AD, получимъ уголъ паденія SAc_1 или, короче, a. Войдя въ средину, лучъ приблизится къ перпендикуляру, образуя уголъ преломленія BAC_1 или b. Если C есть центръ второй шаровой поверхности, то, при выходѣ изъ стекла, лучъ образуетъ уголъ паденія ABC, который назовемъ чрезъ a_1, и уголъ преломленія cBf или b_1; при этомъ уголъ b_1 болѣе a_1, потому что лучъ, переходя изъ средины въ пустоту, удаляется отъ перпендикуляра. Допустимъ, что лучъ, послѣ двухъ преломленій, пересѣкъ главную оптическую ось въ точкѣ f. Опредѣлимъ fE, разстояніе этой точки до стекла; тогда уже само собою обнаружится справедливость сказаннаго, то есть, что лучи, послѣ преломленія, собираются въ одной и той же точкѣ. Искомая величина будетъ зависѣть только отъ слѣдующихъ количествъ: разстоянія свѣтящейся точки S до стекла, угла ASD, составленнаго лучомъ и оптическою осью, отъ радіусовъ шаровыхъ поверхностей, отъ разстоянія CC_1 между центрами и, наконецъ, отъ показателя преломленія стекла. Зависимость между всѣми эти величинами необходимо должна истекать изъ законовъ преломленія свѣта, которые выражаются въ разсматриваемомъ случаѣ двумя уравненіями:

$$\frac{\operatorname{Sin} a}{\operatorname{Sin} b} = m, \text{ и } \frac{\operatorname{Sin} a_1}{\operatorname{Sin} b_1} = \frac{1}{m}, \quad \ldots\ldots \quad (1)$$

гдѣ m означаетъ показателя преломленія чечевицы. Углы a, b, a_1, b_1 надлежало бы выразить теперь посредствомъ упомянутыхъ выше величинъ и подставить въ послѣднія уравненія, чрезъ что мы получили бы искомую зависимость; но рѣшеніе этихъ уравненій въ общемъ видѣ было бы весьма затруднительно и, по причинѣ сложности результатовъ, никакихъ полезныхъ слѣдствій не могло бы дать. Кромѣ того, указанное свойство сферическихъ стеколъ — собирать лучи послѣ преломленія въ одну точку — справедливо только для лучей центральныхъ, то есть такихъ, которые падаютъ на стекло весьма близко отъ главной оптической оси. Поэтому, мы займемся только послѣднимъ частнымъ случаемъ. Но тогда углы a, b, a_1 и b_1 чрезвычайно малы. Изъ тригонометріи же извѣстно, что при очень малыхъ углахъ синусъ весьма мало отличается отъ дуги, такъ что, принявъ вмѣсто синуса его дугу, мы ошибемся менѣе, чѣмъ на кубъ числа, выражающаго отношеніе дуги къ радіусу; если напримѣръ дуга равняется 0,01, то погрѣшность будетъ менѣе 0,000001. Такимъ образомъ, въ уравненіяхъ (1) отношеніе синусовъ можно замѣнить съ весьма малой погрѣшностью отношеніемъ ихъ угловъ. Сдѣлавъ это на самомъ дѣлѣ, получимъ:

$$\frac{a}{b} = m \text{ и } \frac{a_1}{b_1} = \frac{1}{m},$$

откуда находимъ уравненія:

$$\left.\begin{aligned} a &= bm \\ b_1 &= a_1 m \end{aligned}\right\} \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

Остается выразить углы a, b, a_1, b_1 посредствомъ радіусовъ шаровыхъ поверхностей и прочихъ данныхъ величинъ. Назвавъ углы BCC_1, AC_1C, образованные радіусами съ главною оптическою осью, чрезъ h и l, найдемъ, что

*

внѣшній уголъ ciC_1 треугольника CiC_1 равенъ суммѣ h и l; тотъ же уголъ есть также внѣшній для треугольника AiB и потому равенъ $b+a_1$; слѣдовательно,

$$b+a_1=h+l \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (3)$$

Обозначивъ углы ASC и BfC_1 чрезъ g и k, не трудно убѣдиться еще въ слѣдующихъ равенствахъ:

$$a=g+l,\ b_1=k+h \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (4)$$

Сложивъ равенства (2), получимъ:

$$a+b_1=(b+a_1)m.$$

Подставивъ сюда вмѣсто $b+a_1$, a и b_1 равныя имъ величины изъ равенствъ (3) и (4), найдемъ:

$$g+k+h+l=(h+l)m;$$

перенеся во вторую часть равенства количество $h+l$ и взявъ его за общаго множителя, будемъ имѣть:

$$g+k=(m-1)\,(h+l).$$

Съ весьма малою погрѣшностью можно допустить, подобно предыдущему, что синусы равны своимъ дугамъ, а потому

$$\text{Sin}\ g+\text{Sin}\ k=(m-1)\ (\text{Sin}\ h+\text{Sin}\ l) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (5)$$

Опустивъ изъ точекъ A и B на главную оптическую ось перпендикуляры, длину которыхъ обозначимъ чрезъ p и p_1, найдемъ:

$$\text{Sin}\ g=\frac{p_1}{AS},\ \text{Sin}\ k=\frac{p}{Bf},\ \text{Sin}\ h=\frac{p}{BC},\ \text{Sin}\ l=\frac{p_1}{AC_1}.$$

Для простоты положимъ, что $SD=d$, $BC=r$, $AC_1=r_1$. Если, кромѣ того, лучъ падаетъ на стекло близко отъ главной оптической оси, то можно допустить, почти безъ всякой ошибки, $AS=DS=d$, $Bf=Ef=f$, гдѣ f означаетъ разстояніе точки f до стекла; такимъ образомъ, получимъ:

$$\text{Sin}\ g=\frac{p_1}{d},\ \text{Sin}\ k=\frac{p}{f},\ \text{Sin}\ h=\frac{p}{r},\ \text{Sin}\ l=\frac{p_1}{r_1}.$$

Подставивъ въ равенство (5) найденныя выраженія, будемъ имѣть:

$$\frac{p_1}{d}+\frac{p}{f}=(m-1)\left(\frac{p}{r}+\frac{p_1}{r_1}\right).$$

Такъ какъ въ практикѣ употребляются стекла весьма тонкія, то безъ ощутительной погрѣшности можно принять $p=p_1$. Сокративъ обѣ части послѣдняго уравненія на p, найдемъ окончательно:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right) \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (6)$$

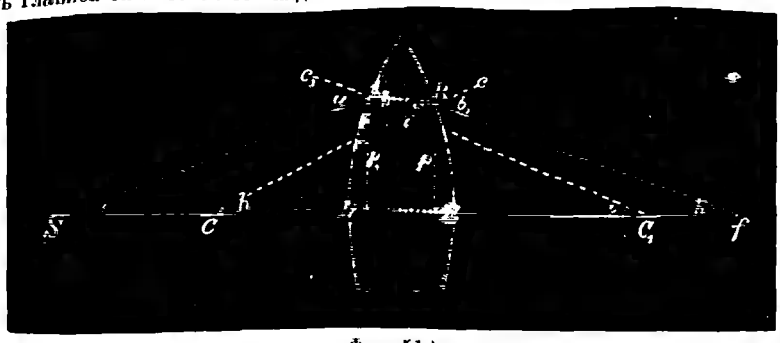
Отсюда легко получить формулу:

$$f=\frac{1}{(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)-\frac{1}{d}}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (7)$$

которая можетъ служить для вычисленія f, если извѣстны m, r, r_1 и d. Эти величины одинаковы для всѣхъ лучей, выходящихъ изъ свѣтящейся точки S, ибо не зависятъ отъ угла ASD; слѣдовательно, центральные лучи, послѣ преломленія, пересѣкаютъ главную оптическую ось на одномъ и томъ же разстояніи отъ стекла.

Не должно забывать, что формула (6), а потому и слѣдствія изъ нея, от-

носятся только до лучей центральныхъ и что она тѣмъ точнѣе, чѣмъ ближе къ главной оптической оси падаютъ эти лучи на стекло.



Фиг. 513.

353. Перемѣщеніе фокуса. Разсмотримъ, какъ перемѣщается фокусъ съ измѣненіемъ разстоянія свѣтящейся точки отъ стекла.

Если свѣтящаяся точка находится на безконечно большомъ разстояніи, то лучи, послѣ преломленія въ двояковыпуклой чечевицѣ, пересѣкаются въ одной точкѣ F (фиг. 514), которая называется *главнымъ фокусомъ* [339]; разстояніе этой точки до чечевицы называется *главнымъ фокуснымъ разстояніемъ*. Величина главнаго фокуснаго разстоянія для разныхъ чечевицъ различна; она тѣмъ менѣе, чѣмъ чечевица сильнѣе преломляетъ лучи, а способность чечевицы преломлять лучи—тѣмъ сильнѣе, чѣмъ менѣе радіусы шаровыхъ поверхностей, которыми она ограничена, и чѣмъ болѣе показатель преломленія вещества, изъ котораго приготовлена чечевица.

Фиг. 514.

Полагая d въ формулѣ (6) равнымъ числу неизмѣримо большому и обозначая главное фокусное разстояніе чрезъ F, будемъ имѣть выраженіе:

$$\frac{1}{F} = (m-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}\right). \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

или

$$F = \frac{1}{(m-1)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r_1}\right)}, \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

изъ котораго можно вычислить величину F, когда даны: m, r и r_1.

Для стекла показатель преломленія приблизительно равенъ $\frac{3}{2}$; допустимъ еще, что $r = r_1$. Тогда найдемъ изъ формулы (9):

$$F = \frac{1}{\left(\frac{3}{2} - 1\right)\left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r}\right)},$$

откуда

$$F=r;$$

слѣдовательно, въ разсматриваемомъ случаѣ, главный фокусъ совпадаетъ съ центромъ шаровой поверхности, ограничивающей стекло.

Для опредѣленія главнаго фокуснаго разстоянія въ случаѣ плосковыпуклой чечевицы, одну изъ двухъ величинъ: r и r_1, наприм. r_1, входящихъ въ формулу (9), надо предположить равною безконечно большому числу, отъ чего найдемъ:

$$F=\frac{1}{(m-1)\frac{1}{r}};$$

такъ какъ показатель преломленія стекла равенъ $\frac{3}{2}$, то

$$F=2r.$$

Въ случаѣ стекла вогнутовыпуклаго, должно большій изъ радіусовъ: r и r_1, наприм. r_1, сдѣлать величиной отрицательной; тогда получимъ:

$$F=\frac{1}{(m-1)\left(\frac{1}{r}-\frac{1}{r_1}\right)}.$$

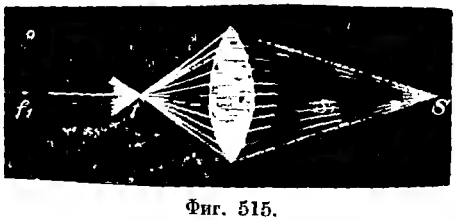
По мѣрѣ приближенія свѣтящейся точки къ оптической чечевицѣ (фиг. 511), лучи становятся болѣе расходящимися; тогда стекло не будетъ ужѐ въ состояніи повернуть лучи настолько, чтобы они пересѣклись въ f; лучи пересѣкутся тогда гдѣ нибудь далѣе, т. е. фокусъ лучей отъ чечевицы удалится.

То же самое видно изъ формулы (7), въ которой съ уменьшеніемъ d дробь $\frac{1}{d}$ увеличивается, а величина $(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)-\frac{1}{d}$ уменьшается, и слѣдовательно, f увеличивается.

Когда свѣтящаяся точка придвинется къ стеклу на разстояніе, которое будетъ вдвое болѣе главнаго фокуснаго разстоянія, то фокусъ будетъ по другую сторону стекла на такомъ же разстояніи какъ и свѣтящаяся точка.

Въ этомъ же легко удостовѣриться, положивъ въ формулѣ (7)

$$d=2F=\frac{2}{(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)}.$$



Фиг. 515.

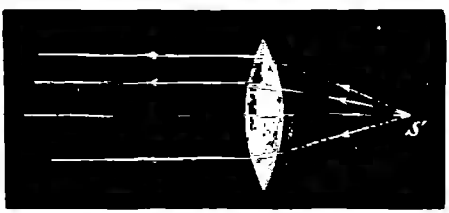
Пусть S (фиг. 515) свѣтящаяся точка, а f — фокусъ ея лучей; если свѣтящаяся точка перемѣстится въ f, то углы преломленія сдѣлаются углами паденія и наоборотъ; слѣдовательно, фокусъ лучей будетъ въ S, въ томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ прежде была свѣтящаяся точка.

Отсюда выходитъ: когда свѣтящаяся точка перейдетъ изъ S въ S_1, на такое разстояніе, на какомъ прежде былъ фокусъ, то есть такъ, что $S_1O=fO$, то фокусъ лучей будетъ въ точкѣ f_1, которая удалена отъ стекла на разстояніе f_1O, равное SO.

Къ тому же заключенію можно придти чрезъ разсмотрѣніе формулы (6), въ которой d и f входятъ совершенно одинаково; поэтому, если на мѣсто d подставить величину равную f, то f будетъ равно прежнему значенію d.

Отсюда слѣдуетъ: если свѣтящаяся точка будетъ между главнымъ фокуснымъ разстояніемъ и двойнымъ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ, то фокусъ лучей будетъ по другую сторону стекла за двойнымъ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ.

Когда свѣтящаяся точка придетъ въ главный фокусъ (фиг. 516), то лучи, послѣ преломленія, будутъ между собою параллельны, или, что все равно, фокусъ ихъ будетъ на безконечно большомъ разстояніи, потому что лучи, выходящіе изъ точки, безконечно удаленной, собираются, послѣ преломленія, въ главномъ фокусѣ, а при переходѣ свѣтящейся точки на мѣсто фокуса, фокусъ перемѣщается на мѣсто свѣтящейся точки.



Фиг. 516.

Формула (7) приводитъ къ тому же результату. Полагая въ ней, по формулѣ (9),

$$d=F=\frac{1}{(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)},$$

найдемъ, что f безконечно велико.

Наконецъ, когда свѣтящаяся точка, будетъ отстоять отъ стекла ближе, чѣмъ на главное фокусное разстояніе, то лучи, хотя и будутъ повернуты чрезъ преломленіе къ главной оптической оси, но все еще останутся расходящимися (фиг. 517). Тогда глазу будетъ казаться, что онъ видитъ въ f свѣтящуюся точку. Точка f называется *мнимымъ фокусомъ*, потому что здѣсь нѣтъ дѣйствительнаго пересѣченія лучей.

Фиг. 517.

Въ разсматриваемомъ случаѣ, въ формулѣ (7) надо допустить, что

$$d < \frac{1}{(m-1)\left(\frac{1}{r}+\frac{1}{r_1}\right)},$$

откуда выйдетъ, что f есть величина отрицательная, которую должно откладывать отъ стекла направо, потому что положительнымъ значеніямъ фокуснаго разстоянія мы давали обратное направленіе.

Сводя вмѣстѣ все сказанное о перемѣщеніи фокуса, находимъ:

Когда свѣтящаяся точка приближается къ стеклу изъ безконечно большого разстоянія до двойного главнаго фокуснаго разстоянія, то фокусъ лучей удаляется отъ стекла по другую сторону отъ главнаго фокуса до двойного. Когда свѣтящаяся точка удалена отъ стекла болѣе, чѣмъ на главное фокусное разстояніе, и менѣе, чѣмъ на двойное, то фокусъ ея лучей отстоитъ отъ чечевицы болѣе, чѣмъ на двойное фокусное разстояніе. Когда свѣтящаяся точка находится въ главномъ фокусѣ, то лучи, послѣ преломленія, параллельны главной оптической оси. Если свѣтящаяся точка помѣщается между главнымъ фокусомъ и стекломъ, то лучи, послѣ преломленія, остаются расходящимися.

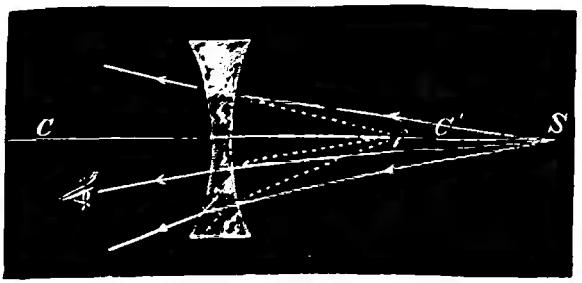
Оптическія чечевицы: плосковыпуклая и вогнутовыпуклая дѣйствуютъ подобно двояковыпуклой, хотя нѣсколько слабѣе, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ; иначе сказать: ихъ главныя фокусныя разстоянія менѣе, чѣмъ у двояковыпуклой чечевицы. Плосковыпуклое стекло сильнѣе преломляетъ, нежели вогнутовыпуклое.

Сужденіями, почти одинаковыми съ предыдущими [352], можно доказать, что центральные лучи, послѣ преломленія въ этихъ стеклахъ, пересѣкаются въ одной точкѣ.

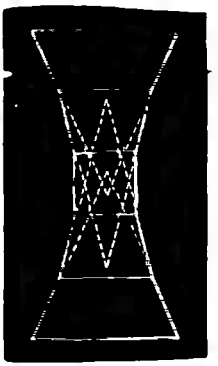
Эти чечевицы называются *собирательными*, потому что поворачиваютъ лучи къ главной оптической оси; онѣ, слѣдовательно, дѣйствуютъ какъ сферическое вогнутое зеркало.

354. Преломленіе въ двояковогнутой чечевицѣ. Пусть C и C' (фиг. 518) центры шаровыхъ поверхностей, ограничивающихъ двояковогнутую оптическую чечевицу. Прямая линія CC' называется главною оптическою осью. Стекло этого рода можно разсматривать какъ совокупность безчисленнаго множества трехгранныхъ призмъ (фиг. 519), обращенныхъ преломляющими ребрами къ серединѣ стекла, и которыхъ углы уменьшаются отъ краевъ стекла къ серединѣ. Пусть изъ свѣтящейся точки S (фиг. 518), лежащей на главной оптической оси, падаютъ лучи; призмы, составляющія двояковогнутое стекло, отклонятъ лучи къ своимъ основаніямъ, слѣдовательно, удалятъ лучи отъ главной оптической оси. Такъ какъ края стекла имѣютъ бо́льшую преломляю-

щую способность, нежели середина, то лучи, послѣ преломленія, дѣлаются болѣе расходящимися, чѣмъ до преломленія. Они кажутся выходящими изъ одной и той же



Фиг. 518.



Фиг. 519.

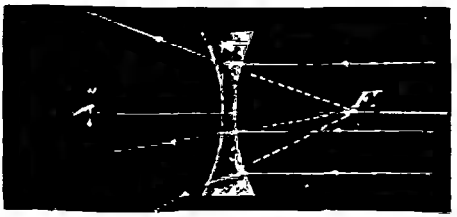
точки f, лежащей на той же сторонѣ стекла, гдѣ находится и свѣтящаяся точка S.

Въ этомъ можно убѣдиться способомъ, подобнымъ тому, какой былъ употребленъ при разсмотрѣніи преломленія свѣта въ двояковыпукломъ стеклѣ [352].

Чѣмъ точка ближе къ стеклу, тѣмъ падающіе и преломленные лучи сильнѣе расходятся, и тѣмъ ближе къ стеклу лежитъ фокусъ.

Если на стекло падаютъ параллельные лучи, то, послѣ преломленія, они кажутся выходящими изъ точки F (фиг. 520), называемой главнымъ фокусомъ. Обратно лучи (фиг. 521), сходящіеся къ главному фокусу F, идутъ, послѣ преломленія, параллельно главной оптической оси.

Преломленіе свѣта въ плосковогнутомъ и выпукловогнутомъ стеклахъ совершается подобнымъ образомъ, какъ и въ двояковогнутомъ, хотя эти стекла дѣйствуютъ и не такъ сильно. Слабѣйшее дѣйствіе принадлежитъ стеклу выпукловогнутому. Три рода оптическихъ чечевицъ: двояковогнутая, плосковогнутая и выпукловогнутая—стремятся всегда разсѣять лучи, и



Фиг. 520.

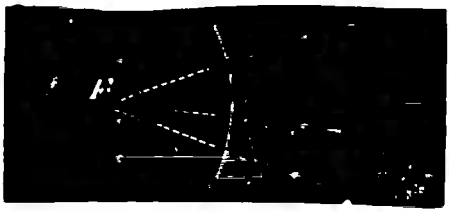
потому называются *разсѣивательными*; онѣ дѣйствуютъ какъ выпуклыя зеркала.

Изъ сравненія формулъ (6) и (8) получается формула:

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F}.$$

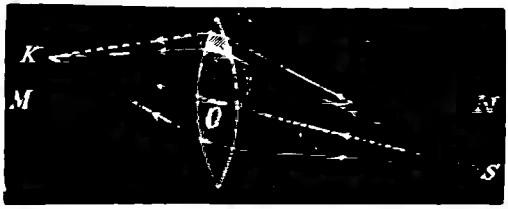
Это выраженіе весьма удобно для запоминанія и совершенно одинаково съ формулой, данной для отраженія свѣта отъ сферическихъ зеркалъ [339]; она

также относится и до всѣхъ сферическихъ стеколъ. Въ вогнутомъ зеркалѣ $F=\frac{r}{2}$, а въ выпукломъ $F=-\frac{r}{2}$; въ собирательныхъ стеклахъ количество F положительное, въ разсѣивательныхъ — отрицательное и опредѣляется по формулѣ (9). Для двояковогнутой чечевицы надо перемѣнить знаки предъ r и r_1, для выпукловогнутой — только предъ одной изъ этихъ величинъ, для плосковогнутой одинъ радіусъ надо принять безконечно большимъ.



Фиг. 521.

355. Оптическій центръ; побочная ось. Лучъ, идущій по главной оптической оси, не измѣняетъ своего направленія въ сферическомъ стеклѣ. Но главная оптическая ось не есть единственная линія. по направленію которой лучъ не преломляется: во всякомъ сферическомъ стеклѣ, каково бы оно ни было—если только оно достаточно тонко — есть точка O (фиг. 522). чрезъ которую лучъ идетъ почти безъ преломленія. Эта точка называется *оптическимъ центромъ* стекла, а всякая линія SK, чрезъ него проведенная, — *побочною оптическою осью.*



Фиг. 522.

Пусть свѣтящаяся точка S лежитъ на побочной оптической оси SK. Въ отношеніи побочной оптической оси, лучи преломляются такъ же, какъ и въ отношеніи главной оптической оси MN, то есть они пересѣкаются въ одной точкѣ K, по другую сторону стекла и лежащей на той же побочной оптической оси, или кажутся выходящими изъ общаго пересѣченія продолженныхъ лучей, какъ это имѣетъ мѣсто для мнимыхъ фокусовъ. Въ этомъ можно убѣдиться изъ слѣдующаго опыта. Пусть свѣтящаяся точка S (фиг. 515) находится на главной оптической оси сферическаго стекла; f—ея фокусъ. Если немного повертывать стекло около его оптическаго центра, то f не перемѣщается, оставаясь на одной и той же прямой, проведенной чрезъ свѣтящуюся точку S и оптическій центръ O.

Свойства оптическаго центра и побочной оптической оси объясняются вполнѣ удовлетворительно. Вообразимъ двояковыпуклую чечевицу (фиг. 523). Проведемъ въ точкѣ a, лежащей на одной изъ выпуклыхъ поверхностей, пло-

скость mn, касательную къ этой поверхности. Возьмемъ на другой выпуклой поверхности такую точку b, чтобы проведенная чрезъ нее касательная плоскость pq къ этой поверхности, была параллельна плоскости mn. Представимъ себѣ пучокъ лучей, падающихъ со всѣхъ сторонъ на точку a; между ними непремѣнно найдется такой лучъ, который, вступивъ въ чечевицу, пойдетъ по направленію ab, и, слѣдовательно, выйдетъ изъ чечевицы по направленію bZ, параллельному Sa, потому что часть сферическаго стекла, между a и b, можно разсматривать какъ средину, ограниченную параллельными плоскостями.—Пусть линія ab пересѣкаетъ оптическую ось CC_1 въ точкѣ O; опредѣлимъ разстояніе этой точки отъ точки h, пересѣченія главной оптической оси съ одной изъ выпуклыхъ поверхностей. Соединивъ центры шаровыхъ поверхностей съ точками a и b, получимъ подобные треугольники, aOC и bOC_1, изъ которыхъ будемъ имѣть:

$$\frac{C_1b}{Ca}=\frac{C_1O}{CO}$$

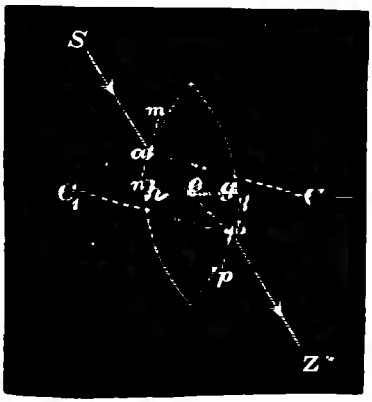
Полагая $hO=x$, обозначая толщину hq стекла чрезъ c, а радіусы C_1b и Ca шаровыхъ поверхностей—чрезъ r_1 и r, найдемъ:

$$\frac{r_1}{r}=\frac{r_1-c+x}{r-x},$$

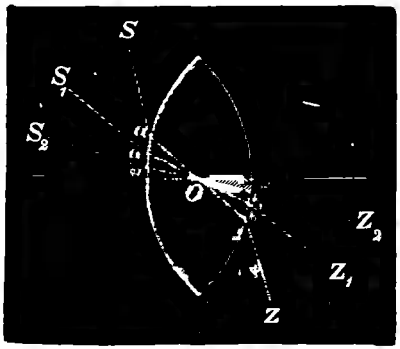
откуда

$$x=c.\frac{r}{r+r_1}. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (x)$$

Величина x не зависитъ отъ направленія луча, а только отъ величинъ c, r и r_1, и значитъ, постоянна для каждой чечевицы. Иначе сказать: для каждой точки a, a_1, a_2 (фиг. 524) на поверхности стекла, есть такое направленіе,



Фиг. 523.



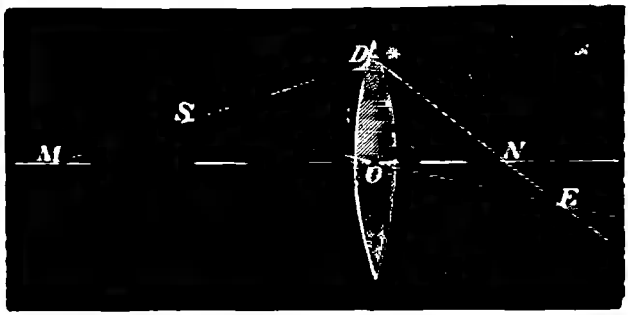
Фиг. 524.

что лучи Sa, Sa_1, S_2a_2, идущіе по этимъ направленіямъ, выходятъ изъ чечевицы по линіямъ bZ, b_1Z_1, b_2Z_2, соотвѣтственно параллельнымъ Sa, S_1a_1, S_2a_2, и пересѣкаютъ главную оптическую ось въ одной и той же точкѣ O; эта точка называется оптическимъ центромъ. Если оптическая чечевица имѣетъ малую толщину, то можно допустить, что направленія Sa и bZ, или S_1a_1 и b_1Z_1 и т. д. совпадаютъ, т. е. лучъ проходитъ чрезъ оптическій центръ безъ преломленія.

Положеніе оптическаго центра въ чечевицахъ разнаго рода различно. Въ

двояковыпукломъ стеклѣ оптическій центръ лежитъ внутри стекла, ближе къ той поверхности, которой радіусъ кривизны меньше, что легко видѣть изъ формулы (x). Для плосковыпуклаго стекла одну изъ величинъ: r и r_1 надо положить равною безконечности; тогда окажется, что оптическій центръ находится на выпуклой поверхности. Для вогнутовыпуклой чечевицы большій изъ радіусовъ есть величина отрицательная; оптическій центръ лежитъ внѣ стекла за выпуклой поверхностью. Подобнымъ образомъ можно опредѣлить положеніе оптическаго центра для разсѣивательныхъ стеколъ.

Разсмотримъ преломленіе относительно побочной оптической оси. Пусть свѣтящаяся точка S (фиг. 525) лежитъ внѣ главной оптической оси MN оптической чечевицы. Проведемъ побочную оптическую ось SOE. Предположимъ, что какой ни есть лучъ SD, послѣ преломленія, пересѣкаетъ главную оптическую ось въ точкѣ N и побочную въ E. Продолжимъ лучъ SD въ противоположную сторону до пересѣченія въ M съ главной оптической осью.



Фиг. 525.

Если стекло очень тонко, то фигуру MDN можно считать треугольникомъ, а ломаную линію SOE—прямою. Въ геометріи доказывается, что произведеніе трехъ несмежныхъ отрѣзковъ на сторонахъ треугольника, произведенныхъ прямою линіею, равно произведенію трехъ другихъ отрѣзковъ:

$$MS \,.\, DE \,.\, NO = SD \,.\, NE \,.\, OM. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (s)$$

Пусть $MO=d$, $ON=f$, $SO=d_1$, $OE=f_1$. Для центральныхъ лучей можно принять безъ ощутительной погрѣшности:

$$MS=MD-SD=d-d_1,\ DE=f_1,\ NO=f,$$
$$SD=d_1,\ NE=DE-DN=f_1-f,\ OM=d.$$

Подстановивъ въ равенство (s) на мѣсто величинъ, туда входящихъ, имъ равныя, получимъ:

$$df_1f-d_1f_1f=d_1f_1d-d_1fd;$$

раздѣливъ обѣ части равенства на dd_1ff_1, найдемъ:

$$\frac{1}{d_1}-\frac{1}{d}=\frac{1}{f}-\frac{1}{f_1}$$

откуда

$$\frac{1}{d_1}+\frac{1}{f_1}=\frac{1}{d}+\frac{1}{f}.$$

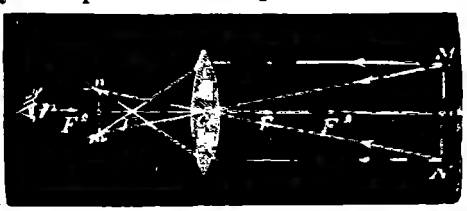
Но вторая часть этого равенства есть величина постоянная, равная $\frac{1}{F}$ [354]; поэтому,

$$\frac{1}{d_1}+\frac{1}{f_1}=\frac{1}{F}.$$

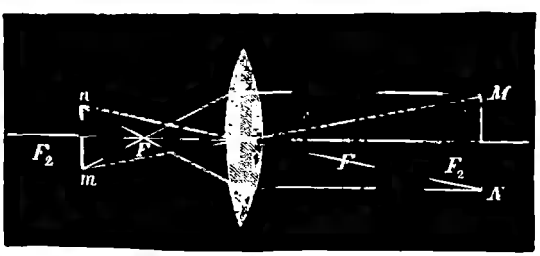
Слѣдовательно, относительно побочной оси, лучи преломляются такъ же, какъ относительно главной.

356. Построеніе изображеній въ собирательномъ стеклѣ. Умѣя находить фокусъ свѣтящейся точки, легко найти фокусы всѣхъ точекъ предмета; мы разсмотримъ это только для двояковыпуклаго и двояковогнутаго стеколъ, распространяя то же правило и на другія чечевицы. Здѣсь надо различать три случая.

1) Предметъ MN (фиг. 526) находится предъ собирательнымъ стекломъ далѣе двойнаго фокуснаго разстоянія OF_2. Изъ точки M проведемъ два луча; чрезъ оптическій центръ O и параллельно главной оптической оси PQ. Первый не уклонится отъ своего направленія [355], второй преломится, и, пройдя чрезъ главный фокусъ F, пересѣчетъ первый лучъ въ точкѣ m; всякій другой лучъ, вышедшій изъ точки M, придетъ въ ту же точку m; здѣсь будетъ фокусъ лучей выходящихъ изъ точки M. Подобнымъ образомъ построятся фокусъ точки N и фокусы промежуточныхъ точекъ между M и N. Глазъ, помѣщенный въ P, будетъ тогда испытывать дѣйствіе расходящихся лучей и потому увидитъ въ mn обратное изображеніе MN.



Фиг. 526.



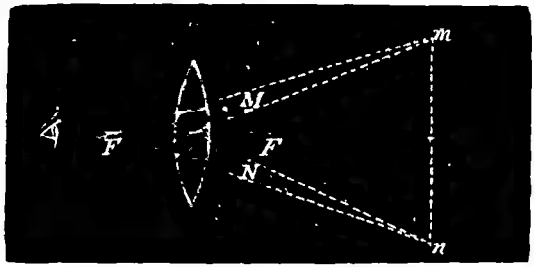
Фиг. 527.

Изъ чертежа легко убѣдиться, что если предметъ находится за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ, то изображеніе будетъ по другую сторону стекла между фокуснымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніями; оно будетъ обратное и въ уменьшенномъ видѣ. Изъ сравненія фигуръ 526 и 527 не трудно понять, что при замѣненіи одного стекла другимъ съ большимъ фокуснымъ разстояніемъ, изображеніе удалится отъ стекла и будетъ больше.

2) Если предметъ MN (фиг. 528) стоитъ между F и F_2, то есть фокуснымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніями, то, произведя то же самое построеніе, легко показать, что изображеніе явится за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ; оно будетъ обратное и увеличенное.

Фиг. 528.

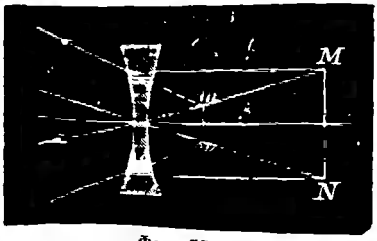
3) Наконецъ, помѣстимъ предметъ между главнымъ фокусомъ и стекломъ (фиг. 529). Проведя попрежнему два луча изъ M: чрезъ оптическій центръ и параллельно главной оптической оси, найдемъ, что эти лучи, послѣ преломленія, будутъ расходиться, и глазу покажется, въ точкѣ m взаимнаго пересѣченія лучей, изображеніе точки M. Подобнымъ образомъ построятся фокусы и другихъ точекъ предмета.



Фиг. 529.

Изображеніе въ этомъ случаѣ находится на той же сторонѣ, гдѣ и предметъ;—оно прямое, увеличенное и мнимое, а потому на бумагѣ не можетъ быть принято, между тѣмъ какъ въ первыхъ двухъ случаяхъ изображеніе предмета, со всѣми его оттѣнками, можно получить на бумагѣ, поставленной въ фокусѣ.

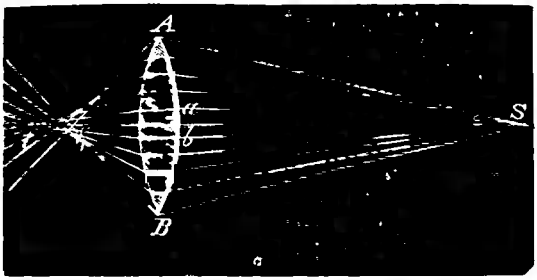
357. Построеніе изображеній въ разсѣивательномъ стеклѣ. Пусть предъ какимъ нибудь разсѣивательнымъ стекломъ, напримѣръ двояковогнутымъ, находится предметъ MN (фиг. 530); проведемъ два луча изъ M: чрезъ оптическій центръ стекла и параллельно главной оптической оси; первый не измѣнитъ своего направленія, второй, послѣ преломленія, будетъ отклоненъ отъ главной оптической оси. Глазу, находящемуся по другую сторону стекла, покажутся оба луча выходящими изъ m, гдѣ глазъ увидитъ точку M предмета MN; точно



Фиг. 530.

такъ же можно построить фокусы лучей, испускаемыхъ прочими точками предмета. Изъ построенія видно, что изображеніе менѣе предмета, въ прямомъ видѣ и мнимое; при томъ понятно, что, въ какомъ бы разстояніи отъ стекла предметъ MN ни находился, изображеніе имѣетъ тѣ же свойства, съ тою только разницею, что будетъ тѣмъ менѣе и тѣмъ далѣе отъ стекла, чѣмъ самый предметъ дальше.

358. Сферическая аберрація. Если на стекло падаютъ лучи изъ свѣтящейся точки, то, послѣ преломленія, они пересѣкаются также въ одной точкѣ [352]. Впрочемъ, это справедливо только для лучей Sa и Sb (фиг. 531), чрезвычайно близкихъ къ главной оптической оси: лучи же, значительно удаленные отъ середины стекла, пересѣкаютъ главную оптическую ось тѣмъ ближе къ стеклу, чѣмъ они падаютъ далѣе отъ середины, такъ что крайніе лучи SA и SB пересѣкаются, напр. въ точкѣ f_1. Отъ этого происходитъ, что изображеніе точки не есть точка, но небольшой кружокъ, который увеличивается съ увеличеніемъ размѣровъ стекла и съ уменьшеніемъ радіусовъ шаровыхъ поверхностей. Такихъ кружковъ будетъ столько, сколько точекъ въ предметѣ; налегая одинъ на другой, они произведутъ неясность изображенія. Это явленіе, вслѣдствіе котораго происходитъ неясность изображеній, доставляемыхъ сферическими стеклами, называется *сферическою аберраціею* стеколъ.



Фиг. 531.

Заставляя лучи проходить послѣдовательно чрезъ двѣ оптическія чечевицы и измѣняя надлежащимъ образомъ кривизну поверхностей, ограничивающихъ чечевицы, можно почти совершенно уничтожить сферическую аберрацію, такъ что она становится для глаза неощутительною; иначе сказать: лучи, послѣ преломленія, будутъ пересѣкать главную оптическую ось, общую обѣимъ чечевицамъ, почти въ одной и той же точкѣ. Замѣтимъ при этомъ, что можно устроить безчисленное множество паръ оптическихъ чечевицъ одинаковой преломляющей силы (т. е. съ однимъ и тѣмъ же главнымъ фокуснымъ разстояніемъ), и не имѣющихъ сферической аберраціи. Совокупность двухъ стеколъ безъ сферической аберраціи называется *апланатическимъ стекломъ*.

Приложенія. На преломленіи и отраженіи свѣта основано устройство нѣкоторыхъ полезныхъ снарядовъ. Мы разсмотримъ: *камеру об-*

скуру, волшебный фонарь, солнечный микроскопъ и приборъ Физо для опредѣленія скорости свѣта.

359. Камера обскура. *Камерою обскурою* называется оптическій приборъ, посредствомъ котораго получаются изображенія внѣшнихъ предметовъ. Ей даютъ разныя устройства.

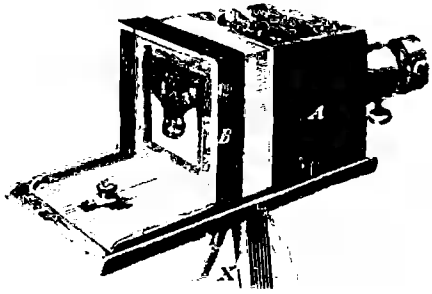
1) Обыкновенный видъ камеры обскуры изображенъ на фиг. 532; фигура 533 представляетъ ходъ лучей. *A* есть мѣдная оправа, поддерживаемая тремя ножками *P*; внутри ея помѣщено плоское зеркало и собирательное стекло. Лучи, исходящіе изъ предмета *MN* (фиг. 533) и упавшіе на зеркало *ab*, отразятся, потомъ преломятся въ стеклѣ *O* и дадутъ изображеніе *mn*. Чтобы построить это изображеніе, надо сначала построить для предмета *MN* мнимое изображеніе M_1N_1 въ плоскомъ зеркалѣ *ab* [333]. Лучи точки *M* отразятся отъ зеркала *ab* по такимъ направленіямъ, какъ будто бы исходили изъ точки M_1, которая удалена отъ этого зеркала одинаково съ точкой *M* и лежитъ на одномъ и томъ же перпендикулярѣ къ зеркалу; преломясь въ оптической чечевицѣ, лучи пересѣкутся въ точкѣ *m*, лежащей на побочной оптической оси M_1m, которая проходитъ чрезъ точку M_1 и оптическій центръ *O* собирательнаго стекла. Совершенно такъ же можно построить фокусъ точки *N* и прочихъ точекъ предмета *MN*. Изображеніе *mn* принимаютъ на бумагу, положенную на столикѣ *S* (фиг. 532). Оно будетъ уменьшенное и сохранитъ тѣ же оттѣнки цвѣтовъ и очертанія, какіе имѣетъ внѣшній предметъ. Карандашемъ легко нанести на бумагу контуры. Чтобы устранить посторонній свѣтъ, къ оправѣ *A* привѣшиваютъ сукно *C*. Когда хотятъ приборъ перенести на другое мѣсто, то доску *S* снимаютъ и ножки *P* складываютъ.

Фиг. 532.

2) Въ деревянный ящикъ *A* (фиг. 534) вставляютъ мѣдную трубку *C* съ собирательнымъ стекломъ. Внутри ящика *A* движется другой *B*, задняя стѣнка котораго *b* есть матовое стекло и можетъ выниматься; на немъ получается обратное изображеніе внѣшняго предмета. Весь приборъ устанавливается на станкѣ *X*, который устрои-

вается такъ, чтобы камеру обскуру можно было направить на всякій предметъ. Эта камера обскура употребляется при фотографіи.

3) Третій видъ камеры обскуры мало отличается отъ второго; онъ состоитъ изъ деревяннаго ящика A



Фиг. 534.

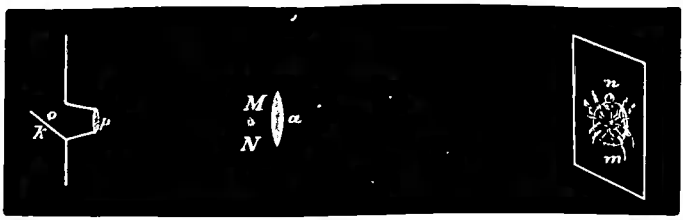
(фиг. 535), въ который вдѣлана металлическая трубка a съ собирательнымъ стекломъ; внутри ящика поставлено плоское зеркало P. Лучи отъ внѣшняго предмета, пре-

Фиг. 533.

ломясь въ стеклѣ, отражаются отъ зеркала P и даютъ изображеніе предмета на прозрачной бумагѣ, или матовомъ стеклѣ q, замѣняющемъ часть крышки. Для устраненія посторонняго свѣта ящикъ имѣетъ вторую крышку r.

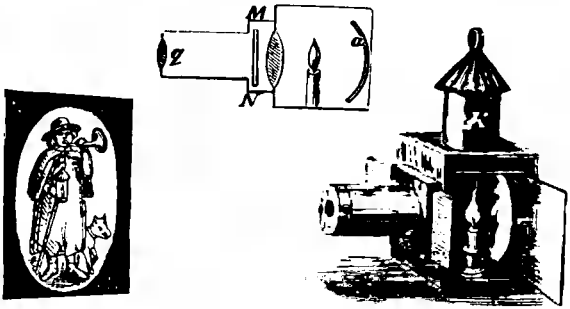
360. Солнечный микроскопъ. *Солнечный микроскопъ* даетъ возможность получать на бѣлой стѣнѣ, или экранѣ, увеличенныя изображенія весьма малыхъ предметовъ. Устройство этого прибора можно понять изъ слѣдующаго. Посредствомъ зеркала k (фиг. 536), въ темную комнату, чрезъ отверстіе o въ ставнѣ пропускаютъ лучи солнца, которые собирательнымъ стекломъ p сосредоточиваются на предметѣ MN. Предметъ помѣщается между главнымъ фокуснымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніями собирательнаго стекла a; изобра-

женіе предмета получается въ *mn*, за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ [356]; оно будетъ увеличенное, обратное и принимается на бѣлую плоскость. Такъ какъ солнечный свѣтъ не всегда можно имѣть, то его



Фиг. 536.

замѣняютъ друммондовымъ, или, лучше, электрическимъ [293]; въ этомъ послѣднемъ случаѣ, приборъ называется *фотоэлектрическимъ микроскопомъ*.



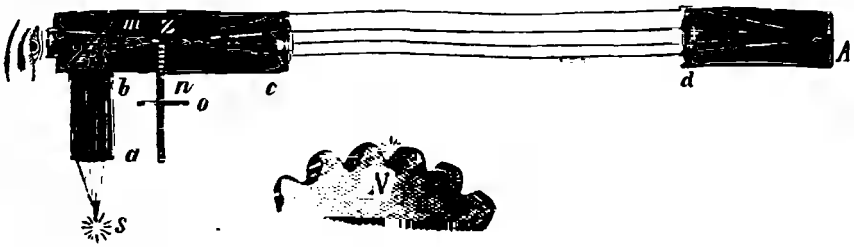
Фиг. 537.

361. Волшебный фонарь. Волшебный фонарь имѣетъ большое сходство съ солнечнымъ микроскопомъ. Въ жестяномъ ящикѣ (фиг. 537), въ центрѣ вогнутаго сферическаго зеркала *a* располагаютъ какой нибудь источникъ свѣта, напр. свѣчу, или лампу; лучи, отраженные отъ зеркала, вмѣстѣ съ лучами вышедшими непосредственно изъ свѣчи, сосредоточиваются собирательнымъ стекломъ и освѣщаютъ прозрачную картину *MN*, нарисованную на стеклѣ и поставленную между фокуснымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніями стекла *q*; отъ этого, изображеніе предмета будетъ за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ [356], увеличенное и въ обратномъ видѣ; оно принимается на бѣлый экранъ. Чрезъ трубку *K* уносятся продукты горѣнія, а свѣжій воздухъ притекаетъ чрезъ отверстія въ нижней части ящика.

Туманныя картины получаютъ помощію двухъ волшебныхъ фонарей, располагая ихъ такимъ образомъ, чтобы производимыя ими изображенія являлись на одномъ и томъ же мѣстѣ экрана. Оба фонаря содержатъ разныя картины. Если одинъ фонарь былъ открытъ, а другой закрытъ, и мы будемъ мало по малу первый закрывать, а второй открывать, то изображеніе, получившееся на экранѣ, станетъ постепенно исчезать, а на мѣсто его будетъ появляться новое.

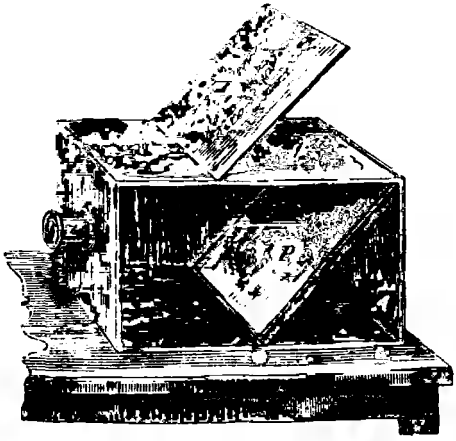
362. Опредѣленіе скорости свѣта по способу Физо. Физо основалъ свой способъ опредѣленія скорости свѣта на слѣдующемъ началѣ. Лучи, исходя-

щіе изъ какого либо источника свѣта s (фиг. 538), напримѣръ, лампы, и падающіе на собирательную чечевицу a, дѣлаются этою чечевицею параллельными. Въ такомъ видѣ лучи доходятъ до второй собирательной чечевицы b,



Фиг. 538.

становятся, послѣ преломленія, сходящимися и падаютъ на стеклянную пластинку m, ограниченную параллельными плоскостями, чрезъ которую они частію проходятъ, частію отражаются и собираются въ точкѣ z. Отсюда лучи расходятся и, преломясь въ собирательной чечевицѣ c, становятся параллельными. Въ такомъ видѣ они достигаютъ собирательной чечевицы d и собираются въ ея главномъ фокусѣ, который располагается какъ разъ на поверхности плоскаго зеркала A. Послѣ отраженія, лучи принимаютъ обратное направленіе и собираются снова въ точкѣ z. Отсюда они расходятся, достигаютъ пластинки m, частію отражаются, частію проходятъ чрезъ нее и, преломясь въ собирательной чечевицѣ, вступаютъ въ глазъ. Наблюдателю представляется тогда въ z свѣтящаяся точка. Самую важную часть прибора Физо составляетъ зубчатое колесо n вращающееся около оси o; ширина зубцовъ равна промежуткамъ между зубцами. Колесо такъ располагается, чтобы зубцы его проходили чрезъ точку z. Если колесо медленно вращать, то свѣтящаяся точка попеременно открывается и закрывается зубцами. На отдѣльной фигурѣ въ N изображено, какъ представляется наблюдателю свѣтящаяся точка между промежутками зубцовъ колеса. Если свѣтящаяся точка появляется болѣе 7 разъ въ секунду, то кажется непрерывной [389]. — Можетъ произойти слѣдующее явленіе. Пусть пучокъ лучей, вышедшихъ изъ точки s, достигъ, послѣ преломленія въ чечевицахъ a и b и отраженія отъ пластинки m, колеса n и попалъ въ промежутокъ между зубцами. Продолжая свой путь, онъ преломится въ чечевицахъ c и d, отразится отъ зеркала m и вернется въ точку z. Если колесо вращалось быстро, то можетъ случиться, не смотря на огромную скорость свѣта, что возвращающійся пучокъ лучей встрѣтитъ зубецъ колеса и будетъ

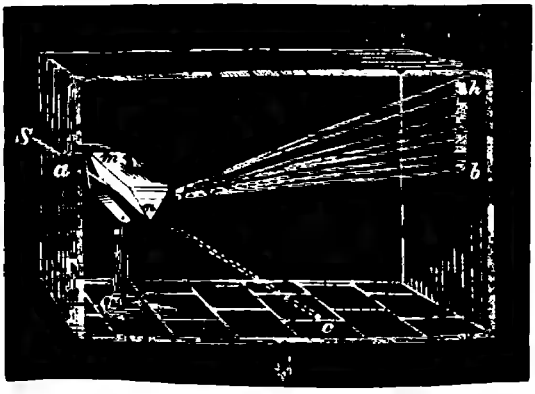


Фиг. 535.

имъ задержанъ; тогда наблюдатель не увидитъ свѣтящейся точки въ z. Для этого нужно, чтобы колесо успѣло повернуться на промежутокъ между зубцами, пока свѣтъ пробѣжитъ двойное разстояніе отъ z до A. Въ опытахъ Физо, разстояніе между z и A было 8633 метра, а въ опытахъ Корню 23910 м. Свѣтящаяся точка z померкаетъ постепенно и, наконецъ, исчезаетъ, по мѣрѣ того какъ ускоряютъ вращеніе колеса. При увеличеніи скорости колеса вдвое, свѣтъ опять появляется. Въ эту пору, лучи проходятъ впередъ (отъ z къ A) чрезъ одинъ промежутокъ между зубцами, а возвращаются чрезъ слѣдующій. При тройной скорости вращенія колеса, свѣтящаяся точка снова исчезаетъ. И т. д. Въ опытахъ Физо, первое исчезаніе свѣта происходило, когда колесо дѣлало 12,6 оборотовъ въ секунду. Такъ какъ колесо имѣло 720 зубцовъ и столько же равныхъ имъ промежутковъ, то на одинъ промежутокъ оно повертывалось въ теченіе $^1/_{12,6.1440}$ секунды. Въ это время свѣтъ пробѣгалъ 8633.2; слѣдовательно, скорость свѣта, по опытамъ Физо, равна 8633.2.12,6.1440. Результаты Корню должно считать болѣе точными [329]. Въ заключеніе прибавимъ, что приборъ Физо представляетъ 2 трубы Кеплера [397], которыхъ оптическія оси должны совпадать. Затѣмъ, въ одной изъ нихъ окуляръ замѣняется зеркаломъ A; въ другой дѣлается разрѣзъ, чрезъ который вводится зубчатое колесо.

Разложеніе свѣта на цвѣта.

363. Разложеніе свѣта на цвѣта. Солнечный лучъ Sa (фиг. 539), проникающій въ темную комнату чрезъ малое отверстіе, даетъ на стѣнѣ, или на полу, круглое пятно c [328]; но если предварительно пропустимъ этотъ лучъ чрезъ призму mn, обращенную преломляющимъ ребромъ внизъ, то, вмѣсто пятна, получимъ прямоугольникъ bh, который будетъ окрашенъ разными цвѣтами; семь изъ нихъ имѣютъ въ общежитіи названія: верхняя часть прямоугольника будетъ окрашена фіолетовымъ цвѣтомъ; затѣмъ, ниже лежать будутъ полосы: синяя, голубая, зеленая, желтая, оранжевая и красная, а между ними — постепенные переходы отъ одного цвѣта къ другому.



Фиг. 539.

Изъ этого опыта мы видимъ, что безцвѣтный лучъ состоитъ изъ безчисленнаго множества цвѣтныхъ лучей, обладающихъ различными показателями преломленія: фіолетовый лучъ имѣетъ самый большой показатель преломленія, а красный лучъ, — са-

мый малый. Всѣ цвѣтные лучи, до вступленія въ призму, имѣли одно и то же направленіе и не ощущались въ отдѣльности. Пройдя же чрезъ призму, они раздѣлились, и каждый лучъ принялъ особенное направленіе.

Свойство свѣта разлагаться на цвѣта называется *хроматизмомъ*, а цвѣтной прямоугольникъ *hb* (фиг. 539), получаемый на преградѣ,— *призматическимъ спектромъ*. Такимъ образомъ, мы видимъ въ лучѣ два качества: цвѣтъ и преломляемость. Эти качества не случайны, а напротивъ вполнѣ зависятъ другъ отъ друга: каждой преломляемости соотвѣтствуетъ особенный цвѣтъ; иначе сказать: если бы красный лучъ получилъ бо́льшую преломляемость, наприм. такую какъ у синяго луча, то красный лучъ пересталъ бы быть краснымъ и произвелъ бы на глазъ впечатлѣніе синяго цвѣта; равнымъ образомъ, если бы показатель преломленія синихъ лучей уменьшился, такъ что лучи эти пошли бы по одному направленію съ красными, то синіе лучи превратились бы въ красные.

Бо́льшая часть источниковъ свѣта: планеты, звѣзды, раскаленныя тѣла и проч. даютъ спектръ, вообще менѣе блестящій, нежели спектръ солнца, но цвѣта бываютъ всегда расположены въ томъ же порядкѣ; при этомъ, однакоже, нѣкоторыхъ цвѣтовъ можетъ недоставать, и тогда на ихъ мѣстѣ являются темныя полосы.

Растворъ какого либо вещества въ жидкости можетъ дать два спектра, наложенные одинъ на другой; если они значительно различаются, то получается спектръ съ ненормальнымъ распредѣленіемъ цвѣтовъ.

Цвѣтные лучи, по выходѣ изъ призмы, расходятся, а потому, при удаленіи экрана отъ призмы, длина спектра увеличивается.

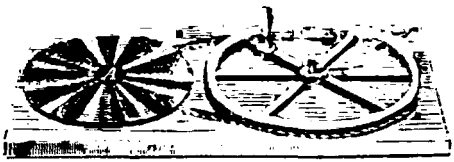
Съ возрастаніемъ преломляющаго угла призмы, увеличивается уголъ отклоненія луча [350]; но какъ показатель преломленія фіолетоваго луча болѣе показателя преломленія краснаго, то уголъ отклоненія перваго луча долженъ увеличиваться быстрѣе угла отклоненія второго. Слѣдовательно, длина спектра при увеличиваніи преломляющаго угла призмы возрастаетъ. Чтобы сдѣлать спектръ еще длиннѣе, лучи заставляютъ проходить послѣдовательно чрезъ нѣсколько призмъ, обращенныхъ преломляющими углами въ одну сторону.

Хотя въ спектрахъ отъ одного и того же источника свѣта замѣчается тотъ же порядокъ цвѣтовъ, но пространство, занимаемое каждымъ цвѣтомъ, и длина всего спектра измѣняются съ веществомъ призмы. Такъ, въ солнечномъ спектрѣ отъ кронгласовой призмы красный цвѣтъ занимаетъ большее пространство относительно длины всего спектра, нежели отъ призмы флинтгласовой, а фіолетовый цвѣтъ наоборотъ.

364. Смѣшеніе цвѣтныхъ лучей. Если смѣшать всѣ цвѣта спектра, то получается безцвѣтный лучъ. Это можно доказать многоразличными способами.

1) На пути лучей, по выходѣ изъ призмы, ставятъ собирательную чечевицу. Тогда всѣ лучи пересѣкаются въ небольшомъ пространствѣ около фокуса и смѣшиваются; если помѣстить здѣсь бѣлую бумагу, то на ней получается бѣлое пятно.

2) Второй способъ основанъ на томъ свойствѣ глаза, что всякое впечатлѣніе, имъ испытываемое, прекращается не тотчасъ, но продолжается около $^1/_7$ секунды и, слѣдовательно, повторяясь болѣе семи разъ въ секунду, должно казаться намъ непрерывнымъ. По этой причинѣ, спицы быстро движущаго колеса сливаются въ одну плоскость; если на проволоку привязать раскаленный уголь и быстро вращать ее около руки, то будемъ видѣть огненную линію. Если картонный кругъ A (фиг. 540) раздѣлить радіусами на секторы, окрасить каждый секторъ соотвѣтственно цвѣтамъ спектра, и привести кругъ A въ быстрое вращательное движеніе на центробѣжной машинѣ, то каждый цвѣтной секторъ представится цѣлымъ кругомъ. Эти круги, налегая другъ на друга, дадутъ бѣлый или, точнѣе сказать, почти бѣлый кругъ,—потому что нѣтъ въ природѣ красокъ совершенно тожественныхъ съ цвѣтами спектра, и хотя бы существовали такія краски, было бы весьма трудно смѣшать ихъ въ надлежащей соразмѣрности.

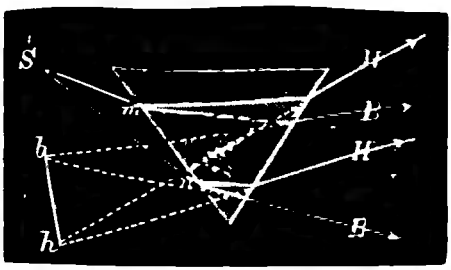


Фиг. 540.

Чрезъ смѣшиваніе призматическихъ цвѣтовъ по два, по три и болѣе получаются составные цвѣта. Напримѣръ, красный цвѣтъ и синевато-зеленый даютъ желтый; красный и желтый — оранжевый; оранжевый и зеленый—желтый и проч. Нѣкоторые цвѣта спектра, взятые по два, по три и болѣе, даютъ бѣлый цвѣтъ; таковы: зеленовато-желтый и фіолетовый, желтый и синій, оранжевый и голубой и проч. Два цвѣта, дающіе послѣ смѣшенія бѣлый, называются *дополнительными*; такіе цвѣта могутъ быть простые, какъ это было сейчасъ сказано, а также сложные, образованные изъ другихъ, какъ напримѣръ: свѣтло-зеленый и розовый.

365. Видъ тѣлъ, разсматриваемыхъ чрезъ призму. Пусть на призму (фиг. 541), обращенную преломляющимъ ребромъ внизъ, падаютъ два луча Sm и Sn отъ свѣтящейся точки S; они отклонятся и разложатся на цвѣта. Если бы эти лучи были красные BB, то глазъ, находясь подъ ихъ впечатлѣ-

ніемъ, увидѣлъ бы въ b, на кажущемся пересѣченіи лучей, красную точку; точно такъ же, если бы на глазъ падали только фіолетовые лучи HH, то мы увидѣли бы фіолетовую точку h ниже красной. Подобнымъ образомъ лучи каждаго цвѣта дадутъ цвѣтную точку, и вообще глазъ увидитъ, вмѣсто бѣлой точки S, цѣлый рядъ точекъ или цвѣтную линію, которая вверху будетъ окрашена въ красный цвѣтъ, внизу — въ фіолетовый, а между ними явятся всѣ прочіе цвѣта спектра.



Фиг. 541.

Если станемъ смотрѣть чрезъ призму на однородную и неограниченную бѣлую плоскость, то каждая точка послѣдней дастъ цвѣтную линію; эти линіи будутъ налегать одна на другую и притомъ разными цвѣтами, которые поэтому перемѣшаются, и бѣлая плоскость чрезъ призму попрежнему покажется бѣлою. Явленіе будетъ иное, если бѣлая плоскость ограничена, напримѣръ вверху, чернымъ пространствомъ. Пусть призма обращена преломляющимъ ребромъ внизъ; тогда красные концы линій, полученныхъ отъ точекъ, которыя лежатъ на границѣ бѣлой плоскости, не будутъ покрываться прочими цвѣтами спектра отъ другихъ точекъ, и потому граница бѣлой плоскости покажется красной. Хотя, кромѣ краснаго цвѣта, бываютъ видны и иные цвѣта, напримѣръ оранжевый, желтый и прочіе, но они не чисты, потому что смѣшиваются съ другими цвѣтами.—Разсуждая подобнымъ образомъ, не трудно показать, что нижняя граница бѣлой плоскости, разсматриваемой чрезъ призму, обращенную преломляющимъ ребромъ внизъ, должна быть окрашена фіолетовымъ цвѣтомъ.

366. Приложенія. Хроматизмомъ объясняются всѣ тѣ явленія, въ которыхъ замѣчается, такъ называемая, *игра свѣта*. Если въ прозрачное тѣло проникаетъ безцвѣтный лучъ, то можетъ произойти полное внутренне отраженіе [347]; но какъ показатель преломленія для разныхъ лучей не одинаковъ, то и предѣльные углы полнаго внутренняго отраженія не равны: наименьшій принадлежитъ фіолетовому лучу, наибольшій—красному. Такъ напримѣръ, въ случаѣ флинтгласа, предѣльный уголъ фіолетоваго луча равенъ 36° 45′ 20″, а краснаго 37° 54′ 10″. Отсюда понятно, что полное внутреннее отраженіе можетъ иногда случиться только съ нѣкоторыми цвѣтными лучами, между тѣмъ какъ другіе будутъ преломляться; такъ напр., фіолетовый можетъ отразиться, а прочіе выйдутъ изъ средины. Такое явленіе замѣчается въ граненыхъ хрустальныхъ украшеніяхъ, прозрачныхъ камняхъ, въ снѣжинкахъ, росѣ и преимущественно въ алмазѣ; они посылаютъ въ глазъ тѣ или другіе цвѣтные лучи, въ зависимости отъ положенія свѣтящагося тѣла и глаза наблюдателя.

Замѣтимъ еще слѣдующія явленія, объясняемыя хроматизмомъ.

Берутъ полоску бумаги, которой одна половина a (фиг. 542) окрашена синей краской, а другая b—красной, и укрѣпляютъ на вертикальной черной поверхности Потомъ, смотрятъ чрезъ стеклянную призму, обращенную преломляющимъ ребромъ внизъ и расположенную такъ, что ребра ея параллель-

ны линіи, отдѣляющей другъ отъ друга части бумаги, окрашенныя разными цвѣтами: пусть красная часть *b* выше синей *a*. Обѣ половины бумаги покажутся глазу ниже своего положенія, но какъ синіе лучи преломляются болѣе красныхъ, то синяя половина понизится болѣе красной, такъ что между ними появится темное пространство.

Слѣдующій опытъ объясняется, подобно предыдущему. Помощію призмы, обращенной преломляющимъ ребромъ внизъ, получаютъ на экранѣ спектръ и на него смотрятъ чрезъ другую такую же призму, расположенную подобно первой; тогда, вмѣсто спектра, глазъ видитъ бѣлое пятно. Этотъ опытъ, вмѣстѣ съ тѣмъ. показываетъ, что лучи спектра, будучи смѣшаны, даютъ безцвѣтный лучъ.

367. Причина цвѣтовъ тѣлъ природы. Различіе въ цвѣтахъ тѣлъ природы можно объяснить неодинаковой способностью тѣлъ разсѣивать цвѣтные лучи. Если наприм. тѣло разсѣиваетъ равныя части всѣхъ цвѣтныхъ лучей, входящихъ въ составъ безцвѣтнаго луча, то содержаніе ихъ, послѣ разсѣянія, останется такое же, какое нужно для полученія безцвѣтнаго луча; такое тѣло имѣетъ, болѣе или менѣе яркій, бѣлый цвѣтъ. Но, обыкновенно, разсѣиваются неодинаковыя части цвѣтныхъ лучей, и тѣло окрашивается въ тотъ цвѣтъ, который въ разсѣянныхъ лучахъ будетъ преобладать.

Тѣла природы разсѣиваютъ всѣ цвѣтные лучи, хотя въ разной степени; изъ этого исключается краска индиго, которая разсѣиваетъ почти одинъ синій цвѣтъ; карминъ даетъ также довольно чистый красный цвѣтъ.

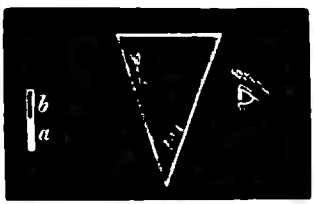
Справедливость этого объясненія цвѣтовъ тѣлъ подтверждается многими опытами. Всякое цвѣтное тѣло, помѣщаемое въ разныхъ мѣстахъ спектра, окрашивается тѣмъ цвѣтомъ, въ какомъ находится, однакоже будетъ ярче въ тѣхъ лучахъ, которые оно способно разсѣивать въ наибольшемъ количествѣ. Синяя краска индиго кажется во всѣхъ цвѣтахъ спектра почти черною, но въ синихъ лучахъ—ярко-синяго цвѣта. Пламя спирта, содержащаго въ растворѣ поваренную соль, имѣетъ желтый цвѣтъ, безъ всякой почти примѣси постороннихъ лучей, а потому, если освѣтить имъ какой нибудь предметъ, не разсѣивающій желтыхъ лучей, то онъ долженъ казаться чернымъ; таково наше лицо, и дѣйствительно, будучи освѣщаемо въ темной комнатѣ желтымъ пламенемъ спирта, оно кажется темнымъ, какъ у мертвеца.

Если разсматривать чрезъ призму какую либо краску, положенную на черномъ фонѣ, то увидимъ всѣ призматическіе цвѣта, въ которыхъ цвѣтъ краски будетъ преобладающимъ, по его яркости и занимаемому имъ пространству.

Нѣкоторыя краски могутъ быть составлены изъ другихъ; такъ, зеленая краска есть смѣсь желтой и синей; оранжевая—желтой и крас-

ной; и проч.; черный цвѣтъ есть отсутствіе всякаго цвѣта; сѣрый — слабый бѣлый цвѣтъ.

368. Окрашенныя средины. Всѣ прозрачныя средины прозрачны не вполнѣ, то есть пропускаютъ только часть свѣта, падающаго на ихъ поверхность, другую же часть задерживаютъ. Иногда всѣ цвѣтные лучи, составляющіе безцвѣтный лучъ, проходятъ чрезъ средину одинаково хорошо, такъ что задерживаются равныя части ихъ. Тогда выходящій лучъ будетъ безцвѣтный. Но бо́льшая часть прозрачныхъ тѣлъ пропускаетъ цвѣтные лучи въ различномъ количествѣ; поэтому, въ выходящихъ лучахъ нѣкоторые преобладаютъ и тѣмъ въ большей степени, чѣмъ толще средина. Средина, пропускающая лучи только одного рода, называется *окрашенною*: красною, оранжевою, желтою и т. д. Впрочемъ, должно замѣтить, что до сихъ поръ не найдено совершенно окрашенной средины. Довольно чистые красные лучи пропускаетъ стекло, въ составъ котораго входитъ закись мѣди. Стекло лазуреваго цвѣта, при достаточной толщинѣ, даетъ смѣшеніе красныхъ и фіолетовыхъ лучей.



Фиг. 542.

Справедливость изложеннаго взгляда на дѣйствіе окрашенныхъ срединъ подтверждается многими опытами. Если лучи проходятъ послѣдовательно чрезъ нѣсколько окрашенныхъ пластинокъ разнаго цвѣта, то свѣтъ несравненно болѣе ослабѣваетъ, нежели въ томъ случаѣ, когда эти пластинки приготовлены изъ одной какой либо окрашенной средины. Возьмемъ напр. только двѣ средины: желтую и красную. Желтая пропуститъ преимущественно желтые лучи, которые потомъ красною большею частію задержатся, такъ какъ послѣдняя пропускаетъ почти только одни красные лучи. Отсюда выходитъ, что двѣ совершенно окрашенныя средины разнаго цвѣта, вмѣстѣ сложенныя, не должны пропускать чрезъ себя никакого свѣта. — Если смотрѣть на солнечный спектръ чрезъ окрашенную средину, которая пропускаетъ простые лучи, напримѣръ красные, то видимъ только красную часть спектра; прочіе же цвѣта исчезаютъ. Если средина пропускаетъ лучи двухъ или болѣе родовъ, то вмѣсто полнаго спектра видны цвѣтныя полосы, раздѣленныя темными пространствами.

369. Полихроизмъ. *Полихроизмомъ* называется свойство нѣкоторыхъ прозрачныхъ тѣлъ окрашивать лучи свѣта въ цвѣта, измѣняющіеся съ толщиною средины. Такъ напр., водный растворъ хлористаго золота при малой толщинѣ пропускаетъ преимущественно желтые лучи; при утолщеніи слоя жид-

кости, начинаютъ преобладать красные лучи. Растворъ двухромовокаліевой соли, въ тонкомъ слоѣ, пропускаетъ лучи зеленовато-желтые, въ толстомъ—красные. Хромовые квасцы въ первомъ случаѣ даютъ зеленые лучи, во второмъ—темно-красные и проч.

Это свойство тѣлъ можно объяснить слѣдующимъ образомъ. Пусть средина пропускаетъ чрезъ себя лучи двухъ какихъ нибудь родовъ, напр. красные и желтые, почти въ одинаковой степени, а прочіе поглощаетъ. Если слой средины тонокъ, то прошедшіе чрезъ него лучи будутъ казаться желтыми, потому что желтые лучи спектра ярче красныхъ. Допустимъ кромѣ того, что красные лучи проникаютъ чрезъ средину легче желтыхъ; тогда, съ увеличиваніемъ толщины слоя, красные начнутъ преобладать. Мы предполагали, что средина пропускаетъ только двухъ родовъ лучи; результаты очевидно будутъ подобные, если вмѣстѣ съ этими лучами входитъ еще незначительное количество другихъ лучей.

370. Спектры раскаленныхъ тѣлъ. Если нагрѣть какое либо тѣло до того, чтобы оно сдѣлалось самосвѣтящимся, то лучи его, пройдя чрезъ призму, дадутъ спектръ, отличающійся особенными свойствами.

Кусокъ платины, или другого твердаго тѣла, будучи нагрѣваемъ, начинаетъ издавать первые свѣтовые лучи при 500°, именно слабые красные; это такъ называемое *темно-красное каленіе*; въ спектрѣ замѣчаются тогда только одни красные лучи. При дальнѣйшемъ возвышеніи температуры, къ красному цвѣту присоединяется оранжевый; если тѣло нагрѣть еще болѣе, то и длина спектра увеличивается; появляются послѣдовательно цвѣта: желтый, зеленый (590°), голубой (600°,) синій (780°) и фіолетовый (1200°). Въ эту пору тѣло, испускаетъ безцвѣтные лучи; температура 1200°, при которой это бываетъ, называется *бѣлокалильнымъ жаромъ*. Если температура возвышается еще болѣе, до *ослѣпляющаго бѣлокалильнаго жара*, то увеличивается только напряженность спектра.

Относительная яркость цвѣтовъ при высокихъ температурахъ почти одинакова для разныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Но, будучи приведено въ газообразное состояніе, каждое вещество пріобрѣтаетъ способность испускать одни лучи преимущественно предъ другими. Такъ, поваренная соль, состоящая, какъ извѣстно, изъ хлора и металла натрія, введенная на платиновой проволокѣ въ пламя, окрашиваетъ его въ желтый цвѣтъ, свойственный раскаленнымъ парамъ этого металла. Соединенія металла стронція даютъ карминокрасный цвѣтъ, соединенія металла барія—зеленый цвѣтъ и проч. Горючіе газы даютъ разнаго цвѣта пламя; такъ, окись углерода горитъ синимъ пламенемъ, синеродъ—пурпуровымъ и проч. Наконецъ, газы и пары въ гейслеровыхъ трубкахъ [318] также имѣютъ разный цвѣтъ. Преобладаніе того или другого цвѣта съ наибольшей ясностью наблюдается въ спектрахъ. Если лучи, испускаемые раскаленнымъ газомъ, пропустить чрезъ призму, то, вмѣсто спектра, получается почти или совершенно темное пространство, пересѣкаемое одной, или нѣсколькими цвѣтными полосами. Мѣсто этихъ полосъ и цвѣтъ характе-

ризуютъ вещество. На этомъ основаніи, когда хотятъ изучать характерныя цвѣтныя линіи, испытуемое тѣло приводятъ въ газообразное состояніе. Металлы можно обращать въ пары электричествомъ (при помощи, напр., румкорфовой спирали), заставляя его перескакивать въ видѣ искръ между электродами, сдѣланными изъ испытуемаго металла; пары накаливаются и даютъ свѣтъ, который изслѣдуютъ помощію призмы; къ характернымъ линіямъ металла присоединяются тогда линіи, свойственныя накаленному воздуху. Многіе металлы можно обращать въ парообразное состояніе въ вольтовой дугѣ [293]: для этого, металлъ кладутъ въ углубленіе, сдѣланное въ нижнемъ углѣ, который надо соединить съ положительнымъ полюсомъ батареи. Многія соединенія металловъ (особенно хлористыя) обращаются въ пары въ пламени водорода или несвѣтящемся пламени горѣлки Бунзена *). Вещество въ твердомъ состояніи вводятъ въ пламя на платиновой проволокѣ; при этомъ пламя окрашивается въ тотъ или другой характерный цвѣтъ, въ зависимости отъ испытуемаго металла. Но лучше всего получать спектры — посредствомъ спирали Румкорфа. Для этого, употребляется слѣдующій приборъ. Онъ состоитъ изъ стеклянной пробирной (снизу запаянной) трубки *bb* (фиг. 543), запертой пробкой, въ которой укрѣпляютъ двѣ тонкія стеклянныя трубки; въ нихъ впаиваютъ двѣ платиновыя проволоки *a* и *k*. Одна изъ нихъ, именно *a*, погружается въ растворъ испытуемаго вещества, налитаго въ пробирную трубку, и загибается вверхъ. На выходящій конецъ этой проволоки надѣвается стеклянная капилярная трубка *c*, превышающая проволоку на 1 или 2 миллиметра. По причинѣ волосности, жидкость подымается до вершины трубки *c*. Выходящій конецъ проволоки *k* находится внѣ жидкости и располагается надъ трубкой *c*. Проволока *a* соединяется съ положительнымъ полюсомъ спирали Румкорфа, а проволока *k*—съ отрицательнымъ. При пропусканіи индуктивнаго тока, надъ вершиной трубки *c* является искра, которой цвѣтъ зависитъ отъ состава раствора.— Спектры газовъ, а также жидкостей и твердыхъ тѣлъ въ парообразномъ состояніи, легко наблюдать помощію трубокъ Плюккера, устроенныхъ на подобіе трубокъ Гейслера [318]; онѣ состоятъ изъ двухъ вмѣстилищъ (фиг. 544), соединенныхъ волосной трубкой *c*, въ которой газъ представляетъ большое сопротивленіе и отъ того сильно нагрѣвается [281], при пропусканіи чрезъ него электричества.

Фиг. 543.

371. Спектроскопъ. Наблюденія надъ спектрами производятся посредствомъ особенныхъ снарядовъ, называемыхъ *спектроскопами* и *спектрометрами*, которые даютъ возможность не только ясно видѣть характерныя цвѣтныя полосы, но и точно опредѣлить ихъ положеніе на шкалѣ, помѣщенной внутри прибора. Фигура 545 представляетъ одинъ изъ такихъ снарядовъ, а фигура 546—внутреннее расположеніе его частей; одинаковыми буквами на обѣихъ фигурахъ обозначены одинаковыя части. Буквой *a* обозначено отверстіе въ видѣ вертикальной щели, чрезъ которую впускаютъ въ трубу *B* лучъ изслѣдуемаго источника свѣта. Прямыя линіи, проведенныя изъ щели, пред-

*) Прибавл. I, § 16.

ставляютъ лучи, падающіе потомъ на чечевицу c. Щель a надо настолько удалить отъ чечевицы c, чтобы, послѣ преломленія, лучи сдѣлались параллельными. Потомъ, лучи падаютъ на оптическую призму, которой ребра параллельны щели a; здѣсь они отклоняются призмой къ ея основанію, разлагаются на цвѣтные и затѣмъ достигаютъ чечевицы e, вставленной въ трубку F. Если бы лучи, впущенные въ щель, были красные, безъ всякой примѣси посторонних лучей, то, послѣ преломленія въ чечевицѣ e, они пересѣклись бы между собою въ нѣкоторой точкѣ r, гдѣ составилось бы красное изображеніе щели; направленіе этихъ лучей показано на фигурѣ непрерывными линіями *). Равнымъ образомъ, если бы испытуемые лучи были фіолетовые, то преломясь въ призмѣ болѣе, чѣмъ красные, они пошли бы по направленіямъ, показаннымъ на фигурѣ пунктирными линіями, и дали бы въ v фіолетовое изображеніе щели. Если испытуемый источникъ свѣта испускаетъ безцвѣтные лучи, состоящіе. какъ извѣстно, изъ всевозможныхъ цвѣтныхъ, то каждый родъ лучей дастъ особенное изображеніе щели, такъ что въ vr получится полный непрерывный спектръ, окрашенный всякими цвѣтами и состоящій изъ ряда цвѣтныхъ изображеній щели, частію другъ друга покрывающихъ. Чѣмъ уже щель, тѣмъ менѣе цвѣта смѣшиваются, и тѣмъ спектръ чище. Если источникъ свѣта даетъ нѣсколько родовъ лучей, подобно раскаленнымъ газамъ или парамъ, то получается столько цвѣтныхъ линій, сколько разныхъ преломляемостей. Спектръ разсматриваютъ съ помощію увеличительнаго стекла p, называемаго въ этомъ случаѣ окуляромъ [397] и служащаго для увеличенія спектра. Для бо́льшаго еще удлиненія спектра, лучи заставляютъ проходить послѣдовательно чрезъ нѣсколько призмъ, число которыхъ доводили до 12.

Въ третьей трубкѣ, на ея концѣ N, помѣщена стеклянная шкала или линейка съ дѣленіями; она освѣщается свѣчкой, или другимъ какимъ нибудь источникомъ свѣта. Лучи послѣдняго проходятъ чрезъ линейку и собирательное стекло g, отражаются отъ грани xy призмы и идутъ потомъ въ трубку F; въ vr, на томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ находится изображеніе спектра, получается изображеніе шкалы. Такимъ образомъ, наблюдателю кажется, что спектръ наложенъ на шкалу. Слѣдовательно, представляется возможность опредѣлить съ большою точностью, противъ какого дѣленія шкалы лежитъ извѣстная цвѣтная линія, принадлежащая какому либо веществу.

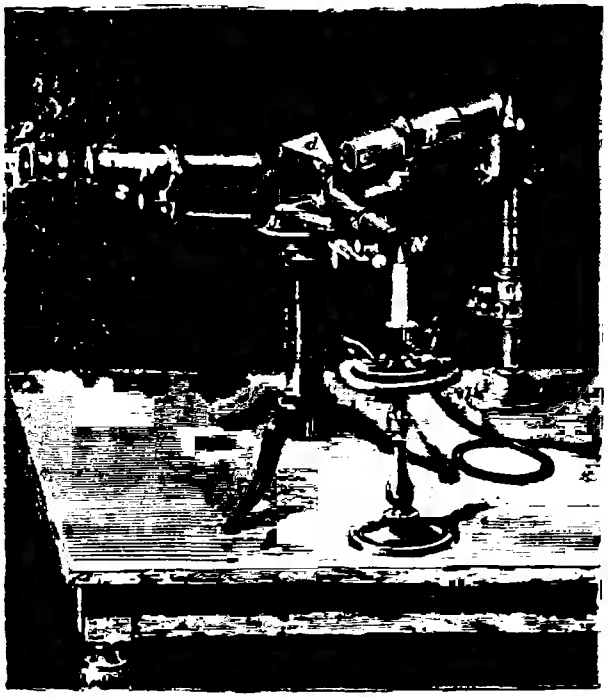
Яркость непрерывнаго спектра увеличивается при расширеніи щели, потому что тогда большее количество свѣта разсѣивается на одно и то же пространство. Яркость спектральныхъ линій при томъ же условіи, то есть при расширеніи щели, не измѣняется, такъ какъ при этомъ увеличивается ихъ ширина. Не смотря на слабую лучеиспускательную способность газовъ и паровъ относительно тѣлъ твердыхъ и жидкихъ, яркость ихъ характерныхъ линій, если щель достаточно узка, не менѣе яркости спектра послѣднихъ, потому что весь свѣтъ, испускаемый газами, или парами, сосредоточивается въ немногія свѣтлыя линіи, между тѣмъ какъ лучи твердыхъ и жидкихъ тѣлъ разсѣиваются на всемъ пространствѣ непрерывнаго спектра.

---

*) Чтобы построить r фокусъ красныхъ лучей, надо провести побочную оптическую ось чечевицы e, параллельную красным лучамъ; они пересѣкутся въ нѣкоторой точкѣ этой оси. Точно такъ же положеніе точки v опредѣляется посредствомъ побочной оси, параллельной фіолетовымъ лучамъ.

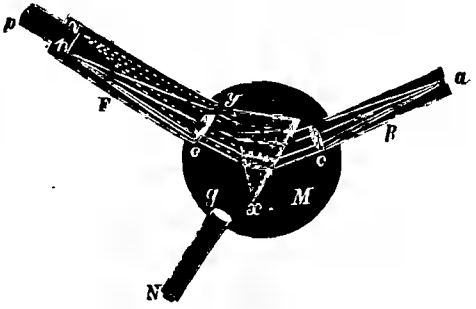
Спектральныя изслѣдованія показали, что каждое тѣло имѣетъ свои характерныя линіи (фиг. 547); такъ, натрій даетъ только одну желтую линію, которая въ спектроскопахъ съ большимъ увеличиваніемъ распадается на множество другихъ. Въ спектрѣ водорода три линіи: красная, зелено-голубая и синяя; при высокой температурѣ является еще фіолетовая линія. Въ спектрѣ литія—3 линіи, желѣза—460 и т. д.

Фиг. 544.



Фиг. 545.

Спектры большей части газовъ и паровъ при обыкновенныхъ условіяхъ состоятъ изъ двухъ наложенныхъ другъ на друга спектровъ: сплошного, подобнаго спектру твердыхъ и жидкихъ тѣлъ, но весьма слабаго,—и прерывистаго, свойственнаго парамъ и газамъ. Съ возвышеніемъ температуры и увеличеніемъ давленія, подъ которымъ находятся раскаленные пары и газы, непрерывный спектръ усиливается, а спектральныя линіи расширяются и, наконецъ, спектръ становится такъ ярокъ, что характерныя линіи исчезаютъ.



Фиг. 546.

Спектръ сложныхъ веществъ вообще иной, чѣмъ составляющихъ его частей. Для всякаго тѣла существуетъ температура, при которой оно разлагается на свои элементы; въ эту пору, спектръ сложнаго тѣла превращается въ спектръ его составныхъ частей.

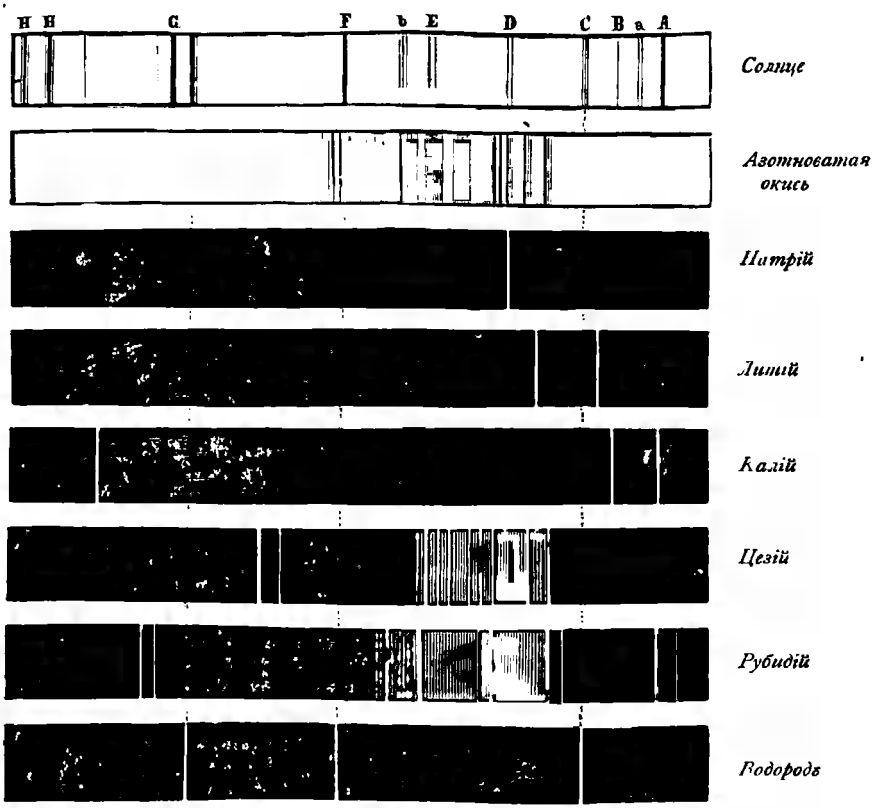
Изучивъ спектры тѣлъ, можно обратно по роду спектра открыть присутствіе того, или другого вещества; показанія эти притомъ въ высшей степени чувствительны; такъ, примѣсь къ воздуху $\frac{1}{20000000}$ по вѣсу натрія обнаруживается появленіемъ въ спектрѣ желтой линіи, свойственной этому металлу. Такимъ образомъ было доказано присутствіе натрія повсюду, въ воздухѣ и въ большей части веществъ, потому что почти невозможно освободиться отъ желтой натріевой черты. Только спектральнымъ изслѣдованіямъ обязаны мы открытіемъ новыхъ металловъ: цезія, рубидія, талія, индія, галлія, скандія и др., которые, по причинѣ крайней раздробленности въ тѣлахъ природы, ускользали отъ химическихъ изысканій.

372. Спектры поглощенія. *Спектрами поглощенія* или *превращенными спектрами* называются спектры сплошные, подобные тѣмъ, какіе даютъ раскаленныя твердыя или жидкія тѣла, со всѣми цвѣтами отъ краснаго до фіолетоваго, за исключеніемъ тѣхъ или другихъ цвѣтовъ, которые ослабляются до извѣстной степени и даже совершенно уничтожаются; на мѣстѣ ихъ являются болѣе или менѣе широкія темныя полосы. — Превращенные спектры получаются послѣ прохожденія безцвѣтнаго луча чрезъ разныя средины. Если наприм. на пути лучей было синее стекло, то въ оранжевомъ цвѣтѣ является черная полоса; прочіе цвѣта замѣтно ослабляются, кромѣ синяго цвѣта, почти сохраняющаго свою яркость, потому что синее стекло наилегче пропускаетъ чрезъ себя синіе лучи, а лучи прочихъ цвѣтовъ задерживаетъ въ большей или меньшей степени. На тѣхъ мѣстахъ спектра, гдѣ должны были бы упасть поглощенные лучи, яркость уменьшается, и цвѣта темнѣютъ, или вовсе исчезаютъ. — Вообще окрашенныя средины даютъ спектры поглощенія, потому что пропускаютъ лучи разнаго цвѣта въ различной степени; онѣ отъ того и представляются окрашенными, что выходящіе изъ нихъ лучи состоятъ изъ спектральныхъ лучей, смѣшанныхъ не въ той соразмѣрности, какая нужна для полученія безцвѣтнаго луча. Впрочемъ, многія, даже весьма слабо окрашенныя вещества, при очень тонкомъ слоѣ, даютъ весьма ясные и характерные спектры. Таковы напр. водные растворы марганцовокаліевой соли (краснаго цвѣта) и хлороурановой соли (зеленаго цвѣта). Особенно замѣчательны соли металла дидима. Растворъ сѣрнодидимовой соли почти совершенно безцвѣтенъ, а между тѣмъ даетъ сильный спектръ поглощенія, состоящій изъ нѣсколькихъ черныхъ линій, число которыхъ зависитъ отъ густоты раствора или толщины слоя жидкости, чрезъ который пропускаютъ лучи. Возможность поглощенія лучей безцвѣтной, или слабо окрашенной срединой легко объясняется на основаніи того, что для составленія безцвѣтнаго луча нѣтъ надобности брать всевозможные цвѣтные лучи, — достаточно небольшаго числа, даже двухъ лучей, какъ это было показано выше.

Газы и пары также даютъ спектры поглощенія, но, по причинѣ незначительнаго количества содержащагося въ нихъ вещества при одинаковомъ объемѣ съ твердымъ или жидкимъ тѣломъ, необходимо брать толстый слой газа. Впрочемъ, нѣкоторые газы и пары, даже при небольшой толщинѣ, даютъ весьма

ясные спектры. Сюда принадлежитъ газъ бурооранжеваго цвѣта, извѣстный подъ названіемъ азотноватой окиси (фиг. 547). Онъ заключается въ стклянку, которую располагаютъ на пути лучей. Пары іода представляютъ подобное явленіе.

Поглощательный спектръ раствора зависитъ не только отъ растворенного вещества, но и отъ растворителя; нерѣдко одно и то же вещество, растворенное въ разныхъ жидкостяхъ, даетъ разные спектры.



Фиг. 547.

373. Соотношеніе между спектрами раскаленныхъ паровъ и газовъ и спектрами поглощенія. Разныя тѣла при одной и той же температурѣ способны испускать изъ себя разное количество лучей; выражаясь короче: испускательная способность тѣлъ различна. Такъ, твердыя и жидкія тѣла обладаютъ большею лучеиспускательною способностью, чѣмъ газы. Раскаленный до бѣла уголь сильно блеститъ, испуская множество лучей, но соприкасающійся съ нимъ воздухъ и газообразные продукты горѣнія остаются темными, хотя температура ихъ мало отличается отъ температуры угля. — Равнымъ образомъ лучи, проходя чрезъ средины, задерживаются въ различной степени, то есть поглощательная способность тѣла неодинакова. Здѣсь

замѣчается слѣдующій законъ. Во сколько разъ больше испускательная способность какого либо тѣла сравнительно съ другимъ, во столько же разъ болѣе и поглощательная его способность; иными словами: *способность поглощательная прямо пропорціональна способности испускательной.*

Этому закону повинуются лучи всякой преломляемости, т. е. разныхъ цвѣтовъ. Если наприм. нѣкоторое тѣло испускаетъ изъ себя только зеленые лучи и никакихъ другихъ, или весьма мало, то при прохожденіи лучей чрезъ то же тѣло поглощаются только зеленые, всякіе же другіе почти или совершенно не задерживаются.

Нижеслѣдующія явленія служатъ доказательствомъ упомянутаго закона.

Твердыя и жидкія тѣла, будучи накалены до одной и той же температуры съ газами, испускаютъ больше лучей, чѣмъ послѣдніе. Равнымъ образомъ всякіе лучи въ твердой или жидкой средѣ больше задерживаются, чѣмъ въ газѣ. Бо̀льшая часть твердыхъ тѣлъ даже вовсе непрозрачны. Толстый слой какого нибудь весьма прозрачнаго твердаго тѣла, напримѣръ стекла, замѣтно поглощаетъ лучи; если бы можно было имѣть подобный слой въ нѣсколько сотенъ футовъ, то чрезъ него безъ сомнѣнія лучи не прошли бы вовсе. Чистая вода прозрачнѣе стекла, но и она такъ много задерживаетъ лучей, что дно глубокихъ морей и океановъ погружено въ вѣчный мракъ. Напротивъ, газы, изъ которыхъ состоитъ атмосфера, не смотря на ея огромную толщину, вѣроятно превышающую 200 верстъ, все еще пропускаютъ бо̀льшую часть солнечныхъ лучей, по крайней мѣрѣ по вертикальному направленію. — Если на бѣлой фарфоровой пластинкѣ сдѣлать черный рисунокъ, то бѣлое пространство ея отличается отъ чернаго только тѣмъ, что свѣтовые лучи, упавшіе на первое, почти не поглощаются, но разсѣиваются во всѣ стороны; попавъ въ нашъ глазъ въ значительномъ количествѣ, они производятъ впечатлѣніе бѣлаго цвѣта. Напротивъ, черный рисунокъ поглощаетъ всѣ упавшіе на него лучи и ничего не разбрасываетъ. Итакъ, бѣлая часть фарфора обладаетъ слабой поглощательной способностью сравнительно съ чернымъ пространствомъ. Если теперь въ темной комнатѣ раскалить ту же фарфоровую пластинку, то черная часть будетъ обладать, по предыдущему закону, большею испускательною способностью, чѣмъ бѣлая, и мы должны увидѣть свѣтлый рисунокъ на относительно менѣе свѣтломъ фонѣ, что и въ самомъ дѣлѣ наблюдается.

Съ возвышеніемъ температуры, испускательная способность тѣлъ, какъ извѣстно, увеличивается; вмѣстѣ съ тѣмъ должна возрастать и поглощательная способность. Въ самомъ дѣлѣ, стекло, будучи весьма прозрачнымъ при обыкновенной температурѣ, становится непрозрачнымъ выше краснокалильнаго жара.

Пары металла натрія испускаютъ почти только желтые лучи. Они же обладаютъ большою поглощательною способностью въ отношеніи желтыхъ лучей и только желтыхъ, т. е. всякіе лучи, кромѣ желтыхъ, свободно проникаютъ чрезъ раскаленные пары натрія. Если на пути солнечныхъ лучей, или другого сильнаго источника свѣта (электрическаго, друммондова), расположить пламя, окрашенное въ желтый цвѣтъ парами натрія, то всѣ цвѣтные лучи, составляющіе безцвѣтный лучъ, пройдутъ чрезъ такое пламя безъ замѣтнаго ослабленія, кромѣ желтыхъ лучей, которые задержатся въ большомъ количествѣ. Пропустивъ лучи, послѣ выхода ихъ изъ натріеваго пламени

чрезъ оптическую призму, мы получимъ сплошной спектръ, перерѣзанный, черной полосой въ томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ должна быть желтая натріева линія.

Спектръ литія характеризуется двумя красными линіями; если пропустить безцвѣтные лучи чрезъ раскаленные пары литія, то въ спектрѣ получаются двѣ черныя линіи въ красномъ цвѣтѣ. Подобнымъ образомъ превращаются спектры другихъ тѣлъ. Вообще, *если раскаленное газообразное тѣло даетъ въ спектрѣ извѣстныя характерныя цвѣтныя линіи, то, послѣ прохожденія безцвѣтнаго луча чрезъ то же тѣло, получается сплошной спектръ, перерѣзанный черными линіями на тѣхъ самыхъ мѣстахъ, гдѣ должны быть упомянутыя цвѣтныя линіи.*

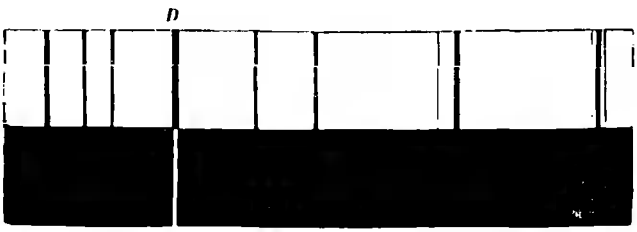
374. Спектръ солнца; фраунгоферовы линіи. Если въ темную комнату, чрезъ щель, сдѣланную въ ставнѣ, впустить солнечные лучи и принять ихъ на одну или нѣсколько призмъ, то получается спектръ, со всѣми цвѣтами отъ краснаго до фіолетоваго и перерѣзанный тонкими черными линіями (фиг. 547). Эти линіи замѣчены были впервые Вульстеномъ. Фраунгоферъ съ большею точностью изслѣдовалъ положеніе этихъ линій и, избравъ изъ нихъ семь самыхъ широкихъ, по одной для каждаго изъ главныхъ цвѣтовъ, обозначилъ ихъ буквами латинской азбуки. Въ красномъ цвѣтѣ черная линія B, въ красноораньжевомъ C, оранжевожелтомъ D, и т. д., наконецъ въ фіолетовомъ H. Позднѣе, обозначили буквой A черную полосу, лежащую между B и краснымъ концомъ спектра. Болѣе тонкія линіи названы малыми буквами латинской азбуки. Фраунгоферъ насчиталъ въ солнечномъ спектрѣ до 600 линій, но теперь ихъ полагаютъ не менѣе 3000. Черныя линіи солнечнаго спектра называются *фраунгоферовыми.*

Многія изъ фраунгоферовыхъ линій, при большомъ числѣ призмъ и большомъ увеличиваніи окуляра, распадаются на болѣе тонкія линіи, такъ что нѣкоторыя фраунгоферовы линіи представляютъ собственно группы линій. Такъ, Фраунгоферъ замѣтилъ, что линія D состоитъ изъ трехъ; одну крайнюю линію, ближайшую къ красному концу спектра, обозначили чрезъ D_1, другую, обращенную къ фіолетовому концу, — чрезъ D_2. При большемъ увеличиваніи, та же линія распадается на 9 и даже на 60 тонкихъ линій. Линія B состоитъ изъ 14 линій; a, находящаяся въ красномъ цвѣтѣ, содержитъ въ себѣ 8 тонкихъ линій, b (въ зеленомъ цвѣтѣ)—3 линіи и т. д.

375. Въ солнечномъ свѣтѣ не достаетъ лучей нѣкоторой преломляемости; фраунгоферовы линіи лежатъ именно на тѣхъ мѣстахъ спектра, куда свѣтовыхъ лучей не падаетъ вовсе или весьма мало. *Слѣдовательно, солнечный спектръ есть спектръ поглощенія*; иначе сказать, лучи солнца, прежде вступленія въ нашъ глазъ, прошли чрезъ нѣкоторую среду; фраунгоферовы линіи даютъ возможность опредѣлить химическій составъ этой среды. Чтобы рѣшить, какимъ веществамъ принадлежатъ тѣ или другія фраунгоферовы линіи, нужно сравнить спектръ солнца съ спектрами поглощенія; но какъ полученіе послѣднихъ весьма затруднительно, то для сравненія берутъ спектры раскаленныхъ паровъ и газовъ. Для этого, щель спектроскопа раздѣляютъ пополамъ;

чрезъ нижнюю часть щели впускаютъ солнечные лучи; верхнюю закрываютъ зеркаломъ, или стеклянной призмой, такъ расположенными, чтобы то или другая отражали въ щель лучи искусственнаго свѣта, напримѣръ пламени натрія, поставленнаго съ боку. Получается два спектра: солнечный и натріевый, одинъ надъ другимъ, какъ это изображено на фигурѣ 548. Верхняя полоса есть солнечный спектръ съ фраунгоферовыми линіями; ниже лежитъ спектръ натрія, состоящій изъ слабаго сплошного спектра, перерѣзаннаго желтой полосой. Оказывается, что желтая натріева линія находится какъ разъ противъ фраунгоферовой линіи D.

При 2-хъ или 3-хъ призмахъ желтая линія натрія, какъ упомянуто было выше, раздѣляется на двѣ; фраунгоферова линія D солнечнаго спектра состоитъ изъ трехъ отдѣльныхъ линій. Будучи сравниваемы въ спектроскопѣ, онѣ имѣютъ положеніе, изображенное на фиг. 549, гдѣ представлена только часть солнечнаго спектра. Мы видимъ, что обѣ линіи натрія совпадаютъ съ двумя крайними темными фраунгоферовыми линіями D_2 и D_1, составляющими группу D. Третья линія, между D_1 и D_2, лежитъ противъ одной изъ свѣтлыхъ линій, свойственныхъ раскаленнымъ парамъ металла никкеля.



Фиг. 548.

Въ спектроскопахъ съ бо́льшимъ количествомъ призмъ, натріева желтая линія и фраунгоферова линія D распадаются на 9 и даже 60 тонкихъ линій: *всѣ натріевы линіи совпадаютъ съ соотвѣтственными черными линіями группы D.*

Сравненія спектровъ солнца и раскаленнаго водорода показали, что свѣтлыя линіи послѣдняго лежатъ противъ нѣкоторыхъ фраунгоферовыхъ линій: краснооранжевая линія водорода — противъ C, зеленоголубая—противъ F, третья совпадаетъ съ одной изъ линій, лежащихъ около G; фіолетовая линія водорода также находится противъ одной изъ фраунгоферовыхъ линій h въ фіолетовомъ цвѣтѣ.

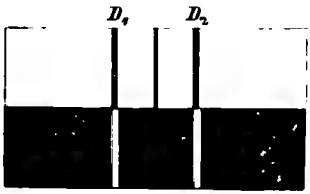
Кирхгофъ при первыхъ своихъ изысканіяхъ видѣлъ 60 линій желѣза, и всѣ онѣ совпадали съ нѣкоторыми фраунгоферовыми линіями. Въ настоящее время извѣстно 460 линій желѣза, и всѣмъ имъ есть соотвѣтственныя линіи въ солнечномъ спектрѣ.

Изъ подобныхъ изысканій нашли, что совпаденіе всѣхъ свѣтлыхъ линій съ фраунгоферовыми имѣетъ мѣсто для слѣдующихъ простыхъ тѣлъ: натрія, кальція, магнія, марганца, хрома, желѣза, никкеля и водорода. Въ этихъ веществахъ замѣчается не только совпаденіе линій, но и полное соотвѣтствіе: чѣмъ ярче и шире нѣкоторая спектральная линія металла, тѣмъ чернѣе и шире фраунгоферова линія.

Спектральныя линіи слѣдующихъ простыхъ тѣлъ только частію совпадаютъ съ черными линіями солнечнаго спектра: калій, свинецъ, кадмій, цинкъ, барій, алюминій, кобальтъ, золото, титанъ и проч. Свѣтлыя линіи прочихъ простыхъ тѣлъ, какъ напримѣръ: серебра, ртути, сурьмы, мышьяка, олова и проч., не

имѣютъ себѣ соотвѣтствующихъ фраунгоферовыхъ линій въ солнечномъ спектрѣ.—Многія свѣтлыя линіи кислорода представляютъ исключительное явленіе: онѣ прорѣзываютъ спектръ солнца.

376. Гипотеза о составѣ и устройствѣ солнца. Совпаденіе свѣтлыхъ спектральныхъ линій простыхъ тѣлъ съ фраунгоферовыми линіями привели Кирхгофа къ объясненію фраунгоферовыхъ линій въ солнечномъ спектрѣ. Солнце, по его понятію, есть раскаленное твердое или жидкое тѣло, окруженное атмосферою раскаленныхъ паровъ и газовъ. Въ самомъ дѣлѣ, если бы солнце было раскаленное до бѣла твердое или жидкое тѣло, то должно было бы давать сплошной спектръ, безъ темныхъ линій, подобно раскаленнымъ твердымъ тѣламъ на земной поверхности. Если бы оно было газообразно, то спектръ представилъ бы только группу свѣтлыхъ линій. Если, наконецъ, солнце есть твердое тѣло, окруженное газообразной оболочкой, то должно давать сплошной спектръ, перерѣзанный черными линіями, т. е. спектръ, подобный тому, какой въ дѣйствительности наблюдается. Предположимъ напримѣръ, что оболочка, окружающая солнце, состоитъ только изъ раскаленныхъ паровъ металла натрія. Твердыя вещества, составляющія солнце, испускали бы тогда безцвѣтные лучи; но всѣ цвѣтные лучи, изъ которыхъ состоятъ безцвѣтные, проникали бы чрезъ атмосферу натріевыхъ паровъ, кромѣ желтыхъ лучей; спектръ былъ бы полный съ одной только фраунгоферовой линіей D.—Равнымъ образомъ, если бы солнце было окружено раскаленными желѣзными парами, то въ солнечномъ спектрѣ было бы 460 фраунгоферовыхъ линій.



Фиг. 549.

Такимъ образомъ, по мнѣнію Кирхгофа, фраунгоферовы линіи происходятъ отъ поглощенія лучей извѣстныхъ преломляемостей въ газообразной атмосферѣ солнца, когда чрезъ нее проходятъ безцвѣтные лучи, испускаемые раскаленнымъ твердымъ или жидкимъ ядромъ этого свѣтила. Фраунгоферовы линіи указываютъ намъ, изъ какихъ веществъ состоитъ солнечная атмосфера. Совпаденіе линіи D съ желтой линіей натрія доказываетъ существованіе въ атмосферѣ солнца паровъ натрія; подобное совпаденіе свѣтлыхъ линій желѣза заставляетъ допустить присутствіе въ атмосферѣ солнца раскаленныхъ паровъ желѣза и т. д. Вообще, въ атмосферѣ солнца находятся тѣ вещества, которыхъ свѣтлыя спектральныя линіи совпадаютъ съ фраунгоферовыми.

Ослѣпительный свѣтъ солнечнаго диска мѣшаетъ намъ видѣть его раскаленную атмосферу. Но во время полныхъ солнечныхъ затмѣній, луна закрываетъ весь дискъ, и атмосфера представляется видимой; она розоваго цвѣта и имѣетъ выдающіяся части, весьма высокія, неправильно прежде считавшіяся горами,—также розоваго цвѣта. Это такъ называемыя *протуберанцы* или *выступы*. Солнечная атмосфера, по гипотезѣ Кирхгофа, должна давать прерывистый спектръ, перерѣзанный цвѣтными линіями, свойственными тѣмъ газамъ, изъ которыхъ состоитъ солнечная атмосфера и выступы.

Ученые всѣхъ странъ ждали съ нетерпѣніемъ полнаго солнечнаго затмѣнія, которое должно было случиться въ 1868 г. 18 августа (нов. стиля), но, къ сожалѣнію, видимое въ отдаленной отъ Европы странѣ, Остъ-Индіи. Разныя государства снарядили экспедиціи для наблюденія упомянутаго затмѣнія.

Рейе, Янсену и другимъ удалось дѣйствительно наблюдать спектръ солнечной атмосферы. Онъ былъ прерывистый и перерѣзанъ нѣсколькими свѣтлыми полосами; двѣ изъ нихъ находились противъ фраунгоферовыхъ линій *C* и *F*. Если не всѣмъ фраунгоферовымъ линіямъ были соотвѣтственныя свѣтлыя линіи, то это объясняется слабостью лучеиспусканія солнечной атмосферы. Солнечныя затмѣнія послѣдующихъ годовъ, за исключеніемъ нѣкоторыхъ подробностей, привели къ тѣмъ же результатамъ.

Въ ту пору, какъ Рейс, Янсенъ и другіе наблюдали полное солнечное затмѣніе 1868 г. въ Индіи, Локьеръ въ Англіи направилъ свой телескопъ, соединенный съ спектроскопомъ, на солнце и получилъ тѣ же самые результаты. Успѣхъ этой попытки весьма просто объясняется тѣмъ, что, при суживаніи щели спектроскопа, непрерывный спектръ ослабѣваетъ, между тѣмъ какъ яркость свѣтлыхъ линій, свойственныхъ солнечной атмосферѣ, при этомъ не должна измѣняться [371]. Съ тѣхъ поръ, метода Локьера была усовершенствована, и въ настоящее время при полномъ блескѣ солнца можно видѣть въ спектрѣ солнечной атмосферы и выступовъ до 22 свѣтлыхъ линій; изъ нихъ 5 принадлежатъ желѣзу, 3—магнію и 2 натрію.

Солнце окружено атмосферою водорода въ 8000 верстъ высоты; эта газовая оболочка имѣетъ розовый цвѣтъ и названа *хромосферой*. Изъ нея отъ времени до времени подымаются высокія массы водорода съ примѣсью металлическихъ паровъ желѣза, магнія и другихъ. Это—протуберанцы или выступы, которыхъ высота доходитъ до 150000 верстъ. Чрезъ сочетаніе цвѣтныхъ стеколъ, расположенныхъ между глазомъ и телескопомъ, направленнымъ на солнце, можно непосредственно видѣть солнечные выступы и хромосферу. Солнечные выступы представляютъ весьма быстрыя измѣненія. Такъ, Локьеръ наблюдалъ одну протуберанцу, высотою болѣе 40000 верстъ, исчезнувшую въ 10 минутъ безъ всякаго слѣда.

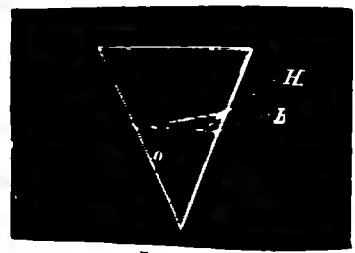
Гипотеза Кирхгофа не объясняетъ намъ многихъ явленій, замѣчаемыхъ на солнцѣ. Гипотеза Фэ удовлетворительнѣе. По этой гипотезѣ, солнце состоитъ только изъ раскаленныхъ газовъ такой высокой температуры, что никакое химическое соединеніе ихъ невозможно; иными словами, всѣ вещества составляющія внутреннюю массу солнца, суть простыя; если бы образовалось даже какое нибудь соединеніе, то тотчасъ же произошло бы разложеніе его на составныя части. Такъ, по крайней мѣрѣ, должно быть во внутренности солнца. На поверхности газы охлаждаются и становятся плотнѣе. Отяжелѣвшія массы опускаются, а разгоряченныя и легкія подымаются. Такимъ образомъ, получаются газообразные потоки: восходящіе и нисходящіе, совершенно какъ въ земной атмосферѣ. Въ охлажденныхъ массахъ происходятъ химическія соединенія, образуются жидкія, а, можетъ быть, и твердыя частицы, которыя, не смотря на охлажденіе, испускаютъ огромное количество лучей,—гораздо больше того, какое они испускали, когда находились въ газообразномъ состояніи, потому что лучеиспускательная способность твердыхъ и жидкихъ тѣлъ несравненно болѣе, чѣмъ у газовъ. Наконецъ, можетъ быть, нѣкоторыя вещества, не вступая въ химическое соединеніе, переходятъ въ твердое или жидкое состояніе. Твердыя или жидкія частицы, по причинѣ своей значительной плотности, сравнительно съ окружающими ихъ газообразными массами, падаютъ во внутренность солнца и снова, вслѣдствіе возвышенной температуры, разрѣшаются въ пары, или разлагаются на свои составныя части. Такимъ образомъ, на

солнцѣ есть сферическій слой, наполненный блестящей твердой или жидкой пылью, которая сообщаетъ этому свѣтилу способность блестѣть ослѣпительнымъ свѣтомъ. Лучи, разсѣиваемые во всѣ стороны, проходятъ чрезъ газы, въ которыхъ плаваетъ раскаленная пыль, и выше лежащую хромосферу, состоящую изъ газовъ, необразовавшихъ твердаго или жидкаго химическаго соединенія; они испытываютъ въ большей или меньшей степени поглощеніе, въ зависимости отъ ихъ преломляемости, и потому въ спектрѣ появляются черныя фраунгоферовы линіи. Происхожденіе тѣхъ или другихъ изъ этихъ послѣднихъ линій зависитъ отъ химическаго состава поглощательной среды.—Внутреннія газообразныя массы солнца, по причинѣ своей сгущенности и возвышенной температуры, должны имѣть чрезвычайно большую упругость, вѣроятно не меньшую той (если не болѣе), какую имѣютъ пороховые газы, образующіеся въ огнестрѣльномъ орудіи при сгараніи пороха. Это стремленіе къ расширенію сдерживается давленіемъ вышележащихъ слоевъ. Но если на поверхности солнца произойдетъ уменьшеніе давленія, то сжатые газы, расширяясь, вытекаютъ на поверхность солнца; отъ этого, еще болѣе уменьшается давленіе на слои, ниже лежащіе. Такое уменьшеніе давленія передается во внутренность солнца на большую глубину, откуда, наконецъ, съ огромной скоростью устремляются газообразныя массы и выбрасываются далеко за предѣлы хромосферы. Эти выбрасываемые газы являются на краяхъ солнца какъ выступы; главная составная часть ихъ водородъ.

377. Спектры небесныхъ свѣтилъ. Въ спектрахъ большей части изслѣдованныхъ звѣздъ найдена фраунгоферова линія D, изъ чего должно заключить, что натрій весьма распространенъ въ мірѣ. Спектры луны и планетъ одинаковы съ спектромъ солнца, какъ и слѣдовало ожидать. Прибавочныя линіи въ спектрахъ нѣкоторыхъ планетъ, вѣроятно, происходятъ отъ поглощенія солнечныхъ лучей въ атмосферахъ планетъ. Подобное явленіе наблюдается и въ земной атмосферѣ: когда солнце близко къ горизонту, то также обнаруживается нѣсколько лишнихъ линій, которыя исчезаютъ при увеличиваніи высоты солнца.—Многія туманныя пятна не даютъ сплошного спектра, а нѣсколько цвѣтныхъ полосъ; такъ, спектръ туманнаго пятна Оріона состоитъ только изъ трехъ зеленыхъ линій. Отсюда слѣдуетъ заключить, что нѣкоторыя туманныя пятна находятся въ газообразномъ состояніи.

Ахроматизмъ.

378. Свѣторазсѣяніе. Когда безцвѣтный лучъ входитъ въ призму (фиг. 550), то цвѣтные лучи, его составляющіе, отклоняются не одинаково: менѣе всѣхъ—красный B, наиболѣе—фіолетовый H. Уголъ BoH, образованный этими крайними лучами, называется *угломъ полнаго свѣторазсѣянія* или просто полнымъ свѣторазсѣяніемъ, а уголъ, составленный двумя какими ни есть средними лучами,—*угломъ частнаго свѣторазсѣянія*, или



Фиг. 550.

короче, частнымъ свѣторазсѣяніемъ. Дабы дать этимъ терминамъ надлежащую точность, стороны угловъ проводятъ къ фраунгоферовымъ линіямъ, соотвѣтствующимъ разсматриваемымъ цвѣтамъ.

При одинаковыхъ углахъ отклоненія для красныхъ лучей, свѣторазсѣянія призмъ, приготовленныхъ изъ разныхъ веществъ вообще не равны, т. е. если красные лучи отклонены разными призмами одинаково, то всѣ другіе лучи, наприм. фіолетовые, будутъ отклонены различно. Такъ, призма изъ воды, съ преломляющимъ угломъ въ 30^0, находясь въ положеніи наименьшаго отклоненія, преломляетъ красный лучъ на $10^0\ 18'$, а фіолетовый — на $10^0\ 43'$, и, слѣдовательно, даетъ свѣторазсѣяніе $25'$. Флинтгласовая призма, съ преломляющимъ угломъ въ $16^0\ 24'$, отклоняетъ красный лучъ также на $10^0\ 18'$, но производитъ большее свѣторазсѣяніе, именно $40'$. Еще болѣе это замѣтно при бо́льшихъ углахъ отклоненія. Водяная призма въ 60^0 даетъ для краснаго луча отклоненіе $23^0\ 26'$, а свѣторазсѣяніе $1^0\ 1'$; флинтгласовая призма въ $35^0\ 14'$, при томъ же отклоненіи краснаго луча, производитъ свѣторазсѣяніе $1^0\ 42'$ *).

Этотъ законъ можно выразить болѣе общимъ образомъ: при одинаковыхъ углахъ отклоненія для лучей нѣкотораго цвѣта, всѣ прочіе лучи отклоняются различно.

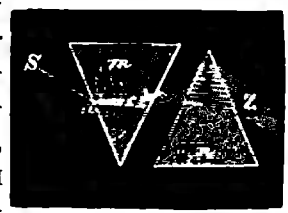
Такъ какъ въ спектрахъ, получаемыхъ помощію двухъ призмъ изъ разныхъ веществъ, цвѣта распредѣляются неравномѣрно [363], то и *углы свѣторазсѣянія частнаго и полнаго не пропорціональны между собою*. Напримѣръ, въ случаѣ призмы изъ воды, съ преломляющимъ угломъ въ 60^0, при наименьшемъ отклоненіи луча, полное свѣторазсѣяніе равно $1^0\ 1'$. Частное свѣторазсѣяніе между лучами голубымъ и желтымъ или, точнѣе, между фраунгоферовыми линіями G и E есть $26'$, что составляетъ 0,426 полнаго свѣторазсѣянія. Флинтгласовая призма въ $35^0\ 14'$, даетъ для полнаго свѣторазсѣянія $1^0\ 42'$, а для частнаго — $44'$, что составляетъ 0,430 полнаго свѣторазсѣянія.

379. Ахроматическая призма. Безцвѣтный лучъ, преломясь въ призмѣ, не только уклоняется отъ своего направленія, но и раздагается еще на цвѣта. Можно приготовить такую систему призмъ изъ разныхъ веществъ, что лучъ, пройдя послѣдовательно чрезъ всѣ призмы, хотя и преломится, но останется почти безцвѣтнымъ, или по крайней мѣрѣ окрашиваніе не будетъ замѣтно. Такая совокупность призмъ называется *ахроматическою призмою*.

---

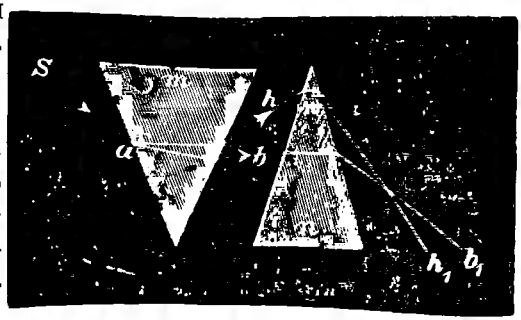
*) Флинтгласы и кронгласы бываютъ весьма разнообразныхъ составовъ, и потому имѣютъ различные показатели преломленія и разныя свѣторазсѣянія; предыдущій примѣръ относится къ одному изъ наиболѣе употребительныхъ флинтгласовъ.

Чтобы понять устройство ахроматической призмы, вообразимъ сначала двѣ призмы m и n (фиг. 551), сдѣланныя изъ одного и того же вещества, напримѣръ кронгласа, и обращенныя преломляющими ребрами въ противныя стороны. Лучъ свѣта Sa отклонится призмой m къ основанію и разложится на цвѣта. Вторая призма будетъ поворачивать цвѣтные лучи въ противную сторону, приближая ихъ къ первоначальному направленію Sa. Допустимъ, что преломляющій уголъ призмы n постепенно возрастаетъ, начиная съ 0^0; отклоненіе и вмѣстѣ съ нимъ свѣторазсѣяніе, произведенныя первой призмой, будутъ уменьшаться, и когда, наконецъ, одинъ изъ цвѣтныхъ лучей пойдетъ параллельно первоначальному направленію Sa, то прочіе лучи примутъ то же направленіе и составятъ вмѣстѣ пучекъ Z параллельныхъ лучей; такой пучекъ воспринимается глазомъ какъ безцвѣтный лучъ. Подобное сочетаніе двухъ кронгласовыхъ призмъ не составляетъ еще ахроматической призмы, потому что, хотя выходящій лучъ безцвѣтенъ, но зато и не отклоненъ отъ своего первоначальнаго направленія.



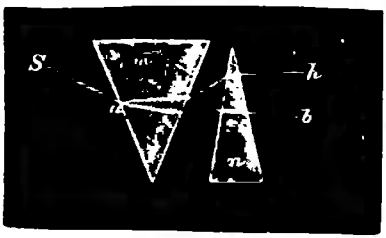
Фиг. 551.

Пусть теперь лучъ Sa (фиг. 552), пройдя чрезъ кронгласовую призму m и разложась на цвѣтные лучи hb, вступаетъ въ другую призму n изъ какого либо другого вещества, напримѣръ флинтгласа, обращенную преломляющимъ угломъ въ противоположную сторону съ первой призмой. Цвѣтные лучи будутъ повернуты назадъ, къ первоначальному направленію Sa. Можно подобрать такой преломляющій уголъ для второй призмы n, что обѣ призмы будутъ повертывать красный лучъ на одинъ и тотъ же уголъ, но въ противоположныя стороны. Тогда, по выходѣ изъ второй призмы n, красный лучъ b_1 будетъ параллеленъ лучу Sa. Для этого, преломляющій уголъ призмы n долженъ быть менѣе преломляющаго угла призмы m, потому что показатель преломленія флинтгласа болѣе показателя преломленія кронгласа. Еслибы свѣторазсѣянія обѣихъ призмъ m и n были равны, то фіолетовый и другіе цвѣтные лучи, сдѣлались бы, подобно красному, параллельны направленію



Фиг. 552.

Sa, и ахроматическая призма была бы невозможна. Но такъ какъ свѣторазсѣяніе флинтгласа болѣе свѣторазсѣянія кронгласа, то фіолетовый лучъ h преломится болѣе въ призмѣ n, чѣмъ въ призмѣ m, и, слѣдовательно, окончательное его направленіе h_1 не будетъ параллельно лучамъ b_1 и Sa. Уменьшая преломляющій уголъ призмы n, можно достигнуть того, что красный лучъ b (фиг. 553) и фіолетовый h сдѣлаются между собою параллельны, оставаясь отклоненными къ основанію кронгласовой призмы m, хотя и на меньшій уголъ, чѣмъ до вступленія ихъ въ призму n. —Еслибы всѣ прочіе цвѣтные лучи были параллельны красному и фіолетовому, то выходящій лучъ, оставаясь безцвѣтнымъ, былъ бы отклоненъ отъ первоначальнаго направленія. Но какъ для разныхъ веществъ свѣторазсѣянія частныя составляютъ неодинаковыя части полныхъ [378], то сочетаніемъ двухъ призмъ можно сдѣлать параллельными только два луча; при этомъ надо выбирать такіе, чтобы всѣ прочіе лучи наиболѣе подходили къ параллельности. Слѣдовательно, двумя призмами нельзя совершенно уничтожить хроматизмъ; впрочемъ, онъ можетъ быть сдѣланъ столь незначительнымъ, что для невооруженнаго глаза будетъ незамѣтенъ. При помощи весьма простыхъ вычисленій, можно доказать, что для достиженія полнаго ахроматизма надлежало бы взять безчисленное множество призмъ изъ разныхъ веществъ, или, точнѣе, столько призмъ, сколько цвѣтныхъ лучей желаемъ сдѣлать параллельными.

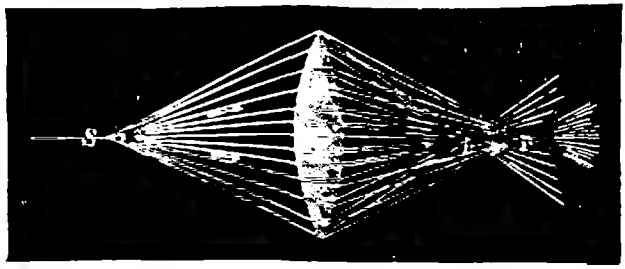


Фиг. 553.

Возможность устройства ахроматической призмы обусловливается тѣмъ обстоятельствомъ, что свѣторазсѣянія разныхъ веществъ, при одинаковыхъ углахъ отклоненія, не равны, потому что въ противномъ случаѣ, какъ скоро уничтожили бы свѣторазсѣяніе, то лучъ принялъ бы свое первоначальное направленіе. Ньютонъ, съ цѣлью изслѣдовать возможность ахроматизма, случайно напалъ на вещества (стекло, вода, терпентинъ), которыхъ свѣторазсѣянія приблизительно равны. Такъ какъ этотъ результатъ былъ согласенъ съ его гипотезой истеченія, то онъ не озаботился произвести новые опыты и заключилъ, что ахроматизмъ невозможенъ. Великій авторитетъ Ньютона былъ причиною того, что зрительныя трубы, основанныя на преломленіи свѣта въ стеклахъ, были оставлены, и все вниманіе тогдашнихъ ученыхъ и оптиковъ было обращено на усовершенствованіе зеркалъ, которыми стали замѣнять стекла. Только спустя 100 лѣтъ, Доллондъ доказалъ, что опыты Ньютона были не точны, и устроилъ первый ахроматическій телескопъ.

380. Хроматическая аберрація. Лучи собираются апланатическимъ стекломъ [358] въ одной точкѣ только въ томъ случаѣ, когда

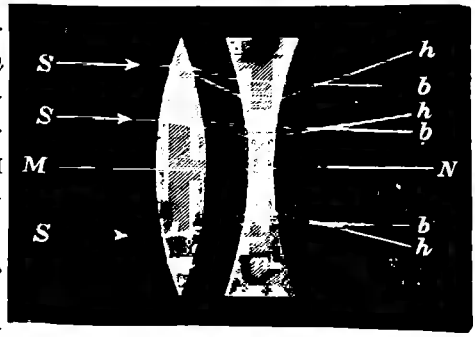
они однородные, напр. красные. Если же лучи, выходящіе изъ точки S и падающіе на апланатическое стекло (фиг. 554), безцвѣтные, то содержащіеся въ нихъ цвѣтные лучи отклонятся веществомъ стекла неодинаково: фіолетовые пересѣкутъ оптическую ось въ v, ближе всѣхъ



Фиг. 554.

прочихъ къ стеклу, какъ наиболѣе преломляющіеся, а красные — нѣсколько далѣе, въ r. Между v и r помѣстятся фокусы другихъ лучей. Такимъ образомъ, цвѣтные лучи, составляющіе безцвѣтный лучъ, пройдя даже чрезъ апланатическое стекло, не будутъ имѣть общаго фокуса, и, слѣдовательно, изображеніе точки S будетъ не точка, но кружокъ. Отъ этого, происходитъ особаго рода аберрація, называемая *хроматической* и производящая, подобно сферической, неясность изображеній.

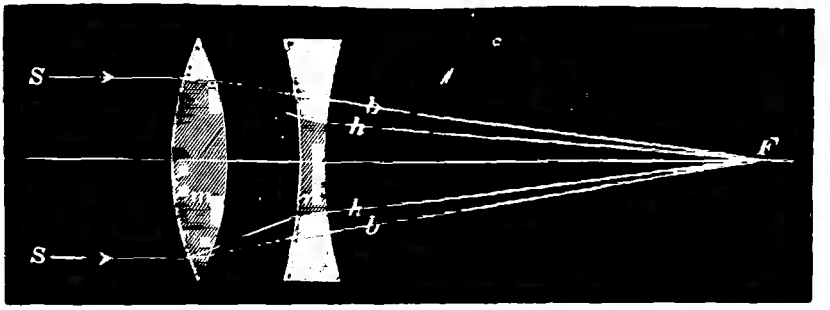
381. Ахроматическое и апланатическое стекло. Пользуясь тѣмъ обстоятельствомъ, что свѣторазсѣянія веществъ не равны, можно приготовить систему такихъ стеколъ, что хроматическая и сферическая аберраціи будутъ не ощутительны. Пусть на кронгласовое собирательное стекло m (фиг. 555) падаютъ безцвѣтные лучи параллельно оптической оси MN; они преломятся и разложатся на цвѣтные. Расположимъ на пути ихъ разсѣивательную чечевицу n изъ флинтгласа, такой кривизны, чтобы красные лучи b пошли параллельно первоначальному



Фиг. 555.

направленію. Такъ какъ свѣторазсѣяніе флинтгласа болѣе свѣторазсѣянія кронгласа, то фіолетовые лучи болѣе преломятся въ чечевицѣ n, чѣмъ въ чечевицѣ m, и, слѣдов., по выходѣ изъ первой, пойдутъ по рас-

ходящимся прямымъ линіямъ h. Напротивъ, если чечевица n будетъ имѣть очень слабую кривизну, то фіолетовые лучи пересѣкутъ главную оптическую ось, и при томъ ближе къ стеклу, чѣмъ красные (фиг. 554). Значитъ, можно подобрать разсѣивательную чечевицу изъ флинтгласа, такой кривизны (фиг. 556), что красные лучи b и фіолетовые h пересѣкутся къ одной и той же точкѣ F, общемъ главномъ фокусѣ обоихъ стеколъ m и n. То же сужденіе можно приложить не только къ параллельнымъ лучамъ, но и къ сходящимся и расходящимся. Во всякомъ случаѣ, можно привести въ совпаденіе фокусы двухъ родовъ цвѣтныхъ



Фиг. 556.

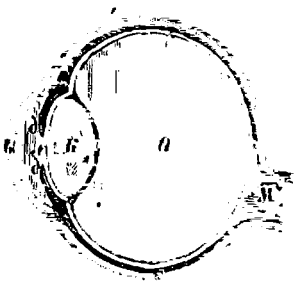
лучей, наприм. фіолетовыхъ и красныхъ. Еслибы съ этимъ фокусомъ совпадали фокусы всѣхъ прочихъ цвѣтныхъ лучей, то хроматическая аберрація была бы совершенно устранена. Но какъ частныя свѣторазсѣянія не пропорціональны полнымъ, то достигнуть этого вполнѣ нельзя. Сферическую аберрацію можно почти уничтожить сочетаніемъ двухъ стеколъ, и при томъ множествомъ способовъ [358]; этою произвольностью пользуются, чтобы привести въ совпаденіе фокусы двухъ цвѣтныхъ лучей, т. е. изъ множества паръ сферическихъ стеколъ (одно стекло флинтгласовое, другое кронгласовое), не имѣющихъ сферической аберраціи, и одинаковаго фокуснаго разстоянія, выбираютъ такую пару, для которой цвѣтные лучи двухъ родовъ имѣютъ одинъ и тотъ же фокусъ. Совпаденіе фокусовъ надо устроить для такихъ лучей, чтобы фокусы всѣхъ лучей были въ ближайшемъ другъ отъ друга разстояніи; для кронгласа и флинтгласа выгодно взять лучи голубые и оранжевые. Хотя и въ этомъ случаѣ хроматическая аберрація не будетъ совершенно уничтожена, однакоже можетъ быть уменьшена на столько, сколько нужно для практическихъ цѣлей. Чтобы достигнуть полнаго ахроматизма, надлежало бы взять безчисленное множество сферическихъ стеколъ изъ разныхъ веществъ. Первое ахроматическое стекло было устроено Доллондомъ. Ахроматическія стекла, какъ ихъ нынѣ приготовляютъ, состоятъ изъ двухъ: двояковыпуклаго (фиг. 557) изъ

кронгласа, обращеннаго къ лучамъ, и выпукловогнутаго изъ флинтгласа; сложенныя поверхности обоихъ стеколъ имѣютъ почти одинаковыя кривизны; чтобы онѣ не касались другъ друга, между ними кладутъ на краяхъ три свинцовые листка.

Фиг. 557.

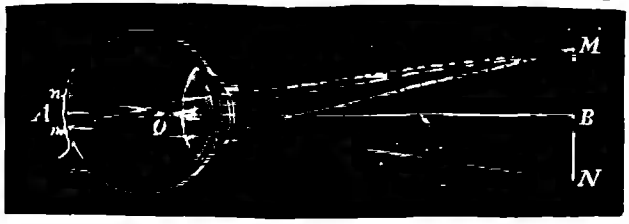
О глазѣ и зрѣніи.

382. Устройство глаза. Глазъ есть тотъ органъ, при помощи котораго мы можемъ *видѣть*.—Онъ лежитъ въ глазной впадинѣ и покрытъ перепончатой бѣлой кожицей (фиг. 558), называемой *склеротикой*. Часть этой кожицы на видимой части глаза извѣстна въ общежитіи подъ именемъ *бѣлка*. Съ ней соединена и какъ-бы служитъ ея продолженіемъ прозрачная и болѣе выпуклая оболочка *b*, называемая *роговою оболочкою*. Къ склеротикѣ прилегаетъ *сосудистая оболочка*, которая на передней части глаза получаетъ названіе *радужной оболочки д*; она бываетъ разнаго цвѣта и имѣетъ во внутренности глаза отверстіе *е*, называемое *зрачкомъ*. У разныхъ животныхъ зрачекъ имѣетъ разную форму; такъ, у человѣка онъ круглый, у кошки—продолговатый по вертикальному направленію, у коровы—удлиненъ по горизонтальному. Зрачекъ можетъ сжиматься и расширяться. Къ сосудистой оболочкѣ прикрѣплено двояко-выпуклое прозрачное тѣло *k*, называемое *кристалликомъ*, который разгораживаетъ глазъ на два отдѣльныя вмѣстилища. Кристалликъ состоитъ изъ многихъ слоевъ; показатели преломленія болѣе у внутреннихъ слоевъ, чѣмъ у наружныхъ; задняя поверхность его выпуклѣе передней. Сосудистая оболочка покрыта чернымъ веществомъ, по которому распространяется *сѣтчатая оболочка*; она есть ничто иное, какъ развѣтвленіе *оптическаго нерва М*, идущаго къ головному мозгу. Пространство между роговою оболочкою и кристалликомъ наполнено жидкимъ веществомъ, называемымъ *водянистою влагою*, а вмѣстилище глаза отъ кристаллика до сѣтчатой оболочки содержитъ студенистое вещество или *стекловидную влагу*. Прозрачныя вещества, составляющія глазъ, имѣютъ разные показатели преломленія: показатель преломленія наружныхъ слоевъ кристаллика равенъ 1,377, внутреннихъ — 1,399, водянистой влаги — 1,337, стекловидной — 1,339.



Фиг. 558.

383. Зрѣніе. Опытъ и размышленіе показываютъ, что зрѣніе заключается въ слѣдующемъ. Внутри глаза, въ стекловидной влагѣ, близъ кристаллика, есть точка O (фиг. 559), чрезъ которую лучи проходятъ почти безъ преломленія; эта точка называется *оптическимъ центромъ* глаза, а линія AB, проведенная чрезъ оптическій центръ и чрезъ



Фиг. 559.

середину кристаллика,—*оптическою осью*. Пусть предъ глазомъ стоитъ предметъ MN, и пусть изъ верхней точки его M выходятъ три луча Ma, Mb и Mc. Лучъ Mb, идущій чрезъ оптическій центръ O, не перемѣнитъ своего направленія; лучи же Ma и Mc преломятся въ водянистой влагѣ, кристалликѣ и студенистой влагѣ. Чтобы объяснить зрѣніе, необходимо допустить, что всѣ лучи, вышедшіе изъ одной точки M предмета, имѣютъ, внутри глаза, общій фокусъ m, въ которомъ эти лучи пересѣкаются и гдѣ, слѣдовательно, будетъ также изображеніе точки M. Подобнымъ образомъ получается n—изображеніе точки N—и mn—изображеніе всего тѣла въ уменьшенномъ и обратномъ видѣ. Нервныя частицы сѣтчатой оболочки испытываютъ впечатлѣніе свѣтовыхъ лучей и передаютъ его, чрезъ зрительный нервъ, мозгу, гдѣ это впечатлѣніе, неизвѣстнымъ для насъ образомъ, преобразовывается въ *зрѣніе*. Если изображеніе лежитъ точно на сѣтчатой оболочкѣ, то каждая точка предмета дѣйствуетъ своими лучами только на одну какую нибудь нервную частицу; это составляетъ необходимое условіе *отчетливости* зрѣнія, т. е. чтобы глазъ могъ видѣть каждую точку предмета въ отдѣльности, не смѣшивая ее съ другою. Если изображеніе mn лежитъ сзади (фиг. 561), или впереди (фиг. 562) сѣтчатой оболочки, то изображенія разныхъ точекъ предмета будутъ не точки, а кружки; тогда каждая нервная частица получитъ впечатлѣніе отъ многихъ точекъ предмета, и зрѣніе будетъ неотчетливое.—Что на сѣтчатой оболочкѣ дѣйствительно получаются изображенія внѣшнихъ предметовъ, можно доказать опытомъ: если у мертваго животнаго вынуть глазъ, очистить заднюю его поверхность, чтобы она сдѣлалась полупрозрачною, и потомъ обратить къ свѣту зрачекъ, то на задней поверхности глаза является изображеніе внѣшнихъ предметовъ въ уменьшенномъ и обратномъ видѣ.

384. Почему мы не видимъ предметовъ въ обратномъ видѣ. Этотъ вопросъ разрѣшали различно. Нѣкоторые полагали, что новорожденное дитя сначала видитъ все въ обратномъ видѣ и только при помощи опыта исправляетъ эту ошибку, привыкая относить ощущеніе въ верхнихъ частяхъ глаза къ низу предмета, ощущеніе внизу глаза — къ верху, правое ощущеніе — налѣво, лѣвое — направо. Но этому именно противорѣчатъ прямыя наблюденія; такъ, былъ одинъ слѣпорожденный, который, прозрѣвъ, никогда не видалъ предметовъ въ обратномъ видѣ. Гораздо вѣроятнѣе слѣдующее объясненіе. Когда новорожденное дитя или прозрѣвшій слѣпорожденный получаютъ въ первый разъ въ глазѣ изображеніе внѣшняго предмета, то они только ощущаютъ впечатлѣніе, но не знаютъ, что оно произведено извнѣ, и что ощущенію этому соотвѣтствуетъ нѣкоторый внѣшній предметъ; прозрѣвшій слѣпой, если захочетъ идти, будетъ въ первое время ощупывать себѣ дорогу, какъ это онъ дѣлалъ прежде. Только длиннымъ рядомъ опытовъ, помощію осязанія, человѣкъ убѣждается, что есть зависимость между впечатлѣніями на сѣтчатую оболочку и внѣшними предметами, и такимъ образомъ привыкаетъ *видѣть*, то есть пріобрѣтаетъ навыкъ, помощію глаза, познавать внѣшніе предметы, ихъ положеніе, видъ, цвѣтъ, величину и пр., независимо отъ положенія изображенія на сѣтчатой оболочкѣ. Итакъ, человѣкъ никогда не видитъ предметовъ въ обратномъ видѣ; вначалѣ, пока не постигъ соотношенія между свѣтовыми ощущеніями и внѣшними предметами, онъ имѣетъ только ощущенія; когда же, наконецъ, научится пользоваться глазомъ для познаванія природы, то все видитъ такъ, какъ оно дѣйствительно существуетъ т. е. въ прямомъ видѣ.

385. Подробность зрѣнія. Пусть въ глазѣ получилось изображеніе mn (фиг. 560) предмета MN; уголъ MON, образованный линіями, идущими отъ оптическаго центра глаза къ краямъ предмета, называется *угломъ зрѣнія*. Если предметъ приблизится къ глазу и станетъ въ положеніе $M'N'$, то, построивъ снова его изображеніе $m'n'$, увидимъ, что оно болѣе прежняго mn *); вмѣстѣ съ тѣмъ увеличится и уголъ зрѣнія. Чтобы понять, какое измѣненіе произойдетъ въ зрѣніи, замѣтимъ слѣдующее. Всѣ наши органы чувствъ въ томъ только слу-

Фиг. 560.

*) И дальше; ниже [386] объяснено, почему оно остается, при извѣстныхъ условіяхъ, на сѣтчатой оболочкѣ.

чаѣ ощущаютъ впечатлѣнія раздѣльно, т. е. не смѣшивая ихъ между собою, если эти впечатлѣнія не очень быстро одно за другимъ слѣдуютъ, или когда воспринявшія ихъ нервныя части не находятся слишкомъ близко другъ отъ друга; въ противномъ случаѣ, ощущенія смѣшиваются, и мы не пріобрѣтаемъ ни объ одномъ изъ нихъ яснаго понятія. Такъ, если быстро вращаемъ около руки проволоку, на которой привязанъ раскаленный уголъ, то вмѣсто угля замѣчаемъ огненную круговую линію; мы не видимъ ядра во время полета только потому, что изображеніе его, пребывая на сѣтчатой оболочкѣ весьма малый промежутокъ времени, не можетъ произвести достаточно сильнаго впечатлѣнія; если весьма скоро одинъ за другимъ слѣдуютъ звуки, то мы не сознаемъ ихъ отдѣльно и слышимъ шумъ; если какого нибудь мѣста нашего тѣла касаться остріями циркуля, котораго ножки очень мало раздвинуты, то мы ощущаемъ одинъ уколъ, а не два, какъ бы слѣдовало; при этомъ можно даже изслѣдовать все тѣло и доказать, что наибольшая осязательная способность находится на концахъ пальцевъ; здѣсь ножки циркуля должны быть весьма близки одна къ другой, чтобы производили не два, а одно впечатлѣніе. Подобное явленіе безъ сомнѣнія существуетъ и въ зрѣніи. Если фокусы двухъ разныхъ точекъ предмета лежатъ на сѣтчатой оболочкѣ очень близко другъ отъ друга, то оба впечатлѣнія смѣшиваются и воспринимаются какъ одно; но когда мы приблизимъ къ себѣ предметъ, то изображеніе его увеличится, слѣдовательно, изображенія разныхъ точекъ его раздвинутся и при нѣкоторомъ удаленіи будутъ ощущаться отдѣльно. Такимъ образомъ, *подробность зрѣнія*, или количество мелочей, замѣчаемыхъ глазомъ, тѣмъ болѣе, чѣмъ предметъ къ намъ ближе.

386. Способность приспособляться. Предметъ и его изображеніе, полученное помощію собирательнаго стекла, могутъ перемѣщаться только въ зависимости другъ отъ друга: когда предметъ приближается къ стеклу, то изображеніе его удаляется [356]; обратно, при удаленіи перваго, второе приближается. Въ той же зависимости между собою находятся предметъ и изображеніе его въ глазѣ, потому что глазъ, подобно собирательной чечевицѣ обладаетъ свойствомъ наклонять лучи къ оптической оси. Пусть предметъ находится въ такомъ положеніи, что его изображеніе лежитъ какъ разъ на сѣтчатой оболочкѣ; если, теперь, предметъ подвинется къ глазу, то изображеніе отступитъ назадъ (фиг. 561) въ *mn*, такъ что на сѣтчатой оболочкѣ должно составиться изображеніе неотчетливое. Тогда каждая нервная частица получитъ впечатлѣніе отъ многихъ точекъ предмета, а при такихъ условіяхъ ясное зрѣніе невозможно. Словомъ, уподобляя глазъ

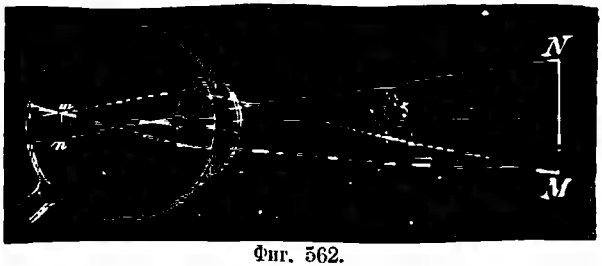
собирательному стеклу, мы приходимъ къ заключенію, что ясно видѣть можно только такіе предметы, которыя удалены отъ насъ на опредѣленное разстояніе. Это заключеніе съ опытомъ несогласно: нормальный глазъ видитъ ясно предметы весьма отдаленные и въ разстояніи незначительномъ, которое однакоже въ большей части случаевъ не менѣе 9 дюймовъ. Способность глаза, повидимому, противорѣчащая оптическимъ явленіямъ—видѣть одинаково ясно предметы на разныхъ разстояніяхъ —называется *способностью приспособляться*; она весьма удовлетворительно объясняется измѣненіемъ кривизны поверхностей кристаллика, который, какъ тѣло упругое, можетъ изгибаться. Когда смотримъ вдаль, то кристалликъ распрямляется, когда же обращаемъ глаза на предметы близкіе, то кривизна поверхностей увеличивается, что заставляетъ лучи сильнѣе преломляться; отъ этого, въ обоихъ случаяхъ, изображеніе ложится какъ разъ на сѣтчатую оболочку. Справедливость этого объясненія подтверждается слѣдующимъ опытомъ. Если предъ глазомъ человѣка поставить свѣчку и заставить его смотрѣть на отдаленный предметъ, то увидимъ въ глазѣ, съ помощью микроскопа, три изображенія свѣчи, получившіяся чрезъ отраженіе: первое прямое—отъ роговой оболочки, второе обратное—отъ задней поверхности кристаллика, и третье прямое—отъ передней поверхности. Если отдаленный предметъ придвинуть къ глазу, то первое изображеніе свѣчи не измѣняется, второе уменьшается, третье приближается къ роговой оболочкѣ. Это показываетъ, что кривизна роговой оболочки не измѣняется, а кривизна обѣихъ поверхностей кристаллика, когда предметъ приближается къ глазу, увеличивается.

Фиг. 561.

387. Разстояніе наилучшаго зрѣнія. Чѣмъ тѣло къ намъ ближе, тѣмъ глазъ различаетъ болѣе подробностей [385]; поэтому, чтобы видѣть разсматриваемый предметъ подробнѣйшимъ образомъ, мы стараемся его придвинуть къ себѣ до предѣла способности приспособляться. Разстояніе, на которое тогда предметъ удаленъ отъ глаза, называется *разстояніемъ наилучшаго зрѣнія*; у большей части людей оно равно 9 дюймамъ.

Близорукость и дальнозоркость. У нѣкоторыхъ лицъ способность приспособляться болѣе или менѣе ограничена: одни могутъ ясно видѣть предметы только очень близкіе, на разстояніи меньшемъ 9 дюймовъ, другіе же, хотя ясно видятъ вдали, но разстояніе ихъ наилучшаго зрѣнія болѣе 9 дюйм., а потому они не могутъ разсматривать предметъ

вблизи и, слѣдовательно, видѣть его подробности, напр. читать мелкую печать. Глаза перваго рода называются *близорукими*, второго — *дальнозоркими*.



Фиг. 562.

Недостатокъ близорукаго глаза заключается въ его способности сильно преломлять лучи, отъ чего изображеніе отдаленнаго предмета бываетъ предъ сѣтчаткою (фиг. 562); у дальнозоркаго же глаза, вслѣдствіе слабой преломляемости, изображенія близкихъ предметовъ получаются сзади глаза (фиг. 561).

388. Чувствительность сѣтчатой оболочки; слѣпая точка. Сѣтчатая оболочка въ разныхъ частяхъ своихъ не одинаково чувствительна къ свѣту; самое впечатлительное мѣсто лежитъ тамъ, гдѣ ее пересѣкаетъ оптическая ось. Когда хотимъ ясно видѣть, то направляемъ глаза такъ, чтобы оптическая ось проходила чрезъ предметъ, но въ то же время видимъ и другіе предметы, хотя съ меньшею ясностью. Глазъ, устремленный на одну точку, обозрѣваетъ пространство по горизонтальному направленію въ 150°, а по вертикальному въ 120°.

На сѣтчатой оболочкѣ, не далеко отъ того мѣста, гдѣ входитъ въ глазъ нервъ, есть точка, которая совершенно нечувствительна къ свѣту; она называется *слѣпою точкою*. Существованіе ея можно доказать такъ. Положимъ на столъ три маленькія бумажки по прямой линіи, въ разстояніи 2 дюймовъ одна отъ другой. Расположивъ глаза по прямой линіи, параллельной первой, и закрывъ правый глазъ, станемъ смотрѣть лѣвымъ глазомъ, на правую бумажку; тогда увидимъ не только эту, но и другія двѣ; не отводя глаза, станемъ повертывать голову вверхъ и внизъ; мы найдемъ, наконецъ, такое положеніе, когда обѣ крайнія бумажки будутъ видны, между тѣмъ какъ средняя исчезнетъ.

389. Продолжительность впечатлѣнія. Впечатлѣніе, произведенное на глазъ, исчезаетъ не тотчасъ, но продолжается еще около $^1/_7$ секунды. Поэтому, если какое нибудь свѣтовое явленіе, напримѣръ электрическая искра, повторяется болѣе 7 разъ въ одну секунду, то кажется намъ непрерывнымъ. Этимъ объясняется, отъ чего раскаленный уголь, привязанный къ проволокѣ и приведенный въ быстрое вращательное движеніе около руки, даетъ непрерывную огненную линію. Спицы быстро движущагося колеса сливаются въ одинъ сплошной кругъ. На томъ же свойствѣ нашего глаза основано устройство *стробоскопа* (фиг. 563). Приготовляютъ рисунки какого либо движущагося предмета въ разныхъ положеніяхъ его движенія, напримѣръ человѣка, который рубитъ дрова. Первый рисунокъ (1) пусть изображаетъ то положе-

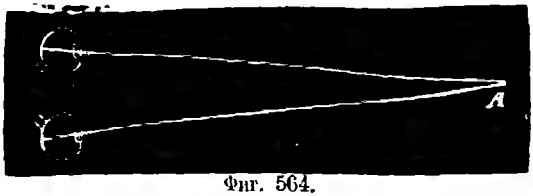
ніе, когда человѣкъ поднялъ топоръ надъ головой, второй (2) — топоръ нѣсколько опущенъ, третій, четвертый и пятый—послѣдовательныя положенія топора, на шестомъ (6)—остріе топора вошло въ полѣно, на седьмомъ (7) — топоръ подымается и т. д. Эти рисунки располагаютъ на картонномъ кругѣ такъ, чтобы верхъ рисунка былъ обращенъ къ окружности круга, а низъ—къ центру; потомъ, надѣваютъ картонъ въ центрѣ на ось и обращаютъ къ зеркалу, чтобы въ немъ отразились нарисованныя фигуры. Если привести кругъ во вращательное движеніе, то изображенія распространятся на цѣлую плоскость, покроютъ другъ друга и дадутъ смѣшанное впечатлѣніе. Чтобы впечатлѣнія не смѣшивались, и чтобы одно начиналось, когда другое оканчивается,—вмѣстѣ съ картономъ вращаютъ на той же оси другой, черный кругъ *mm*, большаго діаметра, на которомъ сдѣланы по направленію радіусовъ щели, по одной противъ каждаго рисунка. Въ зеркало смотрятъ чрезъ эти щели. Тогда каждый рисунокъ дѣйствуетъ на глазъ весьма непродолжительное время, и впечатлѣніе, имъ произведенное, сохраняется, пока глазъ будетъ противъ чернаго пространства между щелями, а когда оно окончится, начнется новое впечатлѣніе, отъ другого рисунка и т. д. Тогда будетъ казаться, что мы видимъ человѣка, который рубитъ дрова.

Фиг. 563.

Если смотрѣть на быстро вращающееся колесо чрезъ щели картоннаго круга стробоскопа, приведеннаго во вращеніе, то спицы колеса видны отдѣльно, а не сливаются, потому что тогда, подобно предыдущему, одно впечатлѣніе уединяется отъ другого. Явленіе будетъ то же самое, если освѣщать колесо рядомъ электрическихъ искръ, наприм. посредствомъ прибора Румкорфа, или пропуская индуктивный токъ чрезъ гейслеровы трубки. Если при такомъ свѣтѣ двигать какимъ либо предметомъ, напримѣръ пальцемъ, то видимъ нѣсколько предметовъ, именно сколько перескочило искръ.

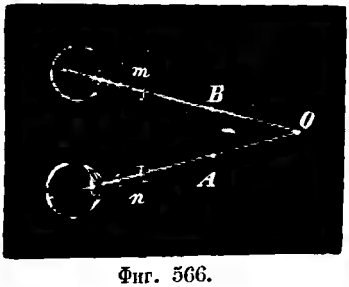
390. Почему двумя глазами мы не видимъ предметовъ вдвойнѣ. Если смотрятъ обоими глазами на какой нибудь предметъ

A (фиг. 564), то, для полученія наисильнѣйшаго впечатлѣнія, стараются направить оптическія оси такимъ образомъ, чтобы онѣ пересѣкались на этомъ предметѣ. На каждой сѣтчатой оболочкѣ получается тогда по изображенію, и потому мы должны бы видѣть предметъ вдвойнѣ. Только при помощи опыта мы убѣждаемся въ ошибочности такого ощущенія, привыкая видѣть одинъ предметъ, когда два изображенія его являются на соотвѣтственныхъ мѣстахъ сѣтчатыхъ оболочекъ. Справедливость этого объясненія подтверждается многими опытами. Когда предметъ подвигаютъ къ глазу, то зрачки сближаются. Если нажать рукою на одинъ глазъ, чтобы вывести его оптическую ось изъ надлежащаго положенія, или скосить глаза, какъ это иные умѣютъ дѣлать, то мы увидимъ, вмѣсто одного, два предмета. Само собою разумѣется, что это не относится до людей съ косыми отъ природы глазами; но когда они излѣчиваются отъ этого недостатка, то видятъ нѣсколько времени все вдвойнѣ. Если чрезъ двѣ трубочки *m* и *n* (фиг. 565) будемъ смотрѣть обоими глазами на два совершенно одинаковые предмета *A* и *B*, то на взаимномъ пересѣченіи оптическихъ осей увидимъ только одинъ предметъ *O* далѣе, нежели *A* и *B*. Поставивъ трубочки въ положеніе, показанное на фигурѣ 566, увидимъ только одинъ предметъ *O*, при томъ ближе, чѣмъ *A* и *B*. Подобное явленіе замѣчается въ органѣ осязанія. Если касаемся шарика двумя пальцами указательнымъ и среднимъ, то получаемъ два впечатлѣнія, а ощущаемъ только одинъ предметъ; причину этого надо искать въ опытѣ. Дѣйствительно, если поставимъ пальцы въ необыкновенное положеніе, къ какому мы не привыкли, напр. согнувъ средній за указательный, то намъ будетъ казаться, что мы касаемся двухъ шариковъ.



Фиг. 564.

Фиг. 565.



Фиг. 566.

391. Сужденіе о разстояніи и величинѣ предметовъ. Ко-

гда дитя начинаетъ убѣждаться, что впечатлѣнія на нервную оболочку производятся извнѣ, то сначала ему кажется, что всѣ видимые имъ предметы находятся у самого глаза; отъ этого, дитя иногда протягиваетъ руки, чтобы схватить какое нибудь отдаленное тѣло. Только постояннымъ сравненіемъ зрѣнія и осязанія мы научаемся распознавать разстоянія, по крайней мѣрѣ ближайшихъ предметовъ. Усиліе, которое глазъ дѣлаетъ, чтобы приспособиться къ яснѣйшему созерцанію предмета, есть одно изъ средствъ судить о разстояніи. Но особенно важно въ этомъ отношеніи напряженіе, употребляемое мускулами, которые повертываютъ глаза, чтобы заставить оптическія оси пересѣчься на предметѣ. Этимъ объясняется, почему такъ трудно, закрывъ одинъ глазъ, опредѣлить разстояніе, напр. попасть остріемъ въ малое отверстіе.

Когда разстояніе предмета отъ насъ весьма велико, то оба указанныя средства не годятся, потому что тогда при удаленіи, или при приближеніи предмета изображеніе его въ глазѣ не перемѣщается замѣтнымъ образомъ: обѣ оптическія оси въ ту пору почти параллельны между собою и почти не измѣняютъ своего относительнаго положенія.— Сужденіе о большихъ разстояніяхъ основывается на признакахъ весьма неопредѣленныхъ. Только частыя упражненія могутъ пріучить насъ къ *глазомѣру*, то есть искусству съ большею или меньшею точностью, безъ всякихъ вспомогательныхъ средствъ, измѣрять разстоянія. Иногда мы судимъ о разстояніи по яркости освѣщенія, потому что всѣ предметы сильно освѣщенные кажутся намъ ближе; на этомъ основано рисованіе: выпуклыя части предметовъ изображаютъ свѣтлыми, углубленія—тѣнями. По той же причинѣ, ночью зарево пожара кажется ближе, нежели оно есть на самомъ дѣлѣ.—Воздухъ не вполнѣ прозраченъ; поэтому, очертанія отдаленныхъ тѣлъ не рѣзки, наиболѣе освѣщенныя части сливаются съ тѣнями, такъ что иногда трудно бываетъ распознать, видимъ ли мы вдали лѣсъ, или гору, или тучи. Этимъ пользуются художники, намѣренно сообщая предметамъ на заднихъ планахъ картины меньшую ясность. То же обстоятельство можетъ служить средствомъ для опредѣленія разстоянія, но оно весьма ненадежно, потому что зависитъ отъ степени прозрачности воздуха, которая бываетъ весьма различна въ разныхъ мѣстахъ и въ разное время. Житель равнинъ ошибочно опредѣляетъ разстояніе въ гористыхъ мѣстахъ, гдѣ, по причинѣ чрезвычайной прозрачности воздуха и непривычной для глаза громадности горъ, всѣ предметы кажутся обыкновенно разъ въ 15 ближе.—Число промежуточныхъ предметовъ также руководитъ глазъ въ измѣреніи разстояній; чѣмъ больше тѣлъ между разсматриваемымъ предметомъ и нами, тѣмъ онъ кажется дальше.—Можно еще заключить о разстоя-

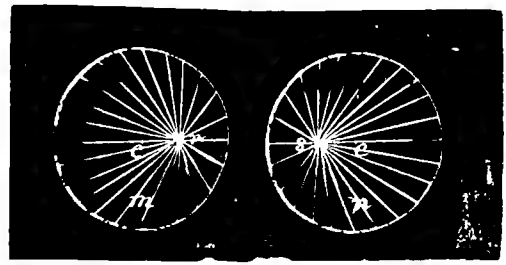
ніи по величинѣ изображеній на сѣтчатой оболочкѣ, или по углу зрѣнія, если предметъ намъ знакомъ: чѣмъ изображеніе менѣе, тѣмъ разстояніе должно казаться болѣе.—Когда, наконецъ, предметы отстоятъ отъ насъ далѣе нѣкотораго предѣла, или когда ни одно изъ указанныхъ средствъ не имѣетъ мѣста, то мы теряемъ всякую возможность судить о разстояніи и относимъ всѣ предметы къ одному разстоянію: поэтому, звѣзды, планеты кажутся одинаково отъ насъ удаленными, хотя это несправедливо.

Сужденіе о величинѣ предметовъ составляется, между прочимъ, по величинѣ изображенія на сѣтчатой оболочкѣ, если разстояніе до предмета намъ извѣстно; чѣмъ больше изображеніе, тѣмъ предметъ имѣетъ, повидимому, большіе размѣры. Но какъ опредѣленіе разстоянія бываетъ иногда весьма ошибочно, то и сужденіе о величинѣ предметовъ можетъ быть далеко не вѣрно. Количество наблюдаемыхъ подробностей также помогаетъ намъ опредѣлять величину предмета: чѣмъ болѣе и яснѣе ихъ глазъ различаетъ, тѣмъ и предметъ кажется больше. Отъ этого, зданія, украшенныя множествомъ фигуръ и другихъ орнаментовъ, кажутся больше своей дѣйствительной величины.

На ошибочности сужденія о величинѣ предметовъ и разстояніи основано объясненіе многихъ *иллюзій* или обмановъ зрѣнія, кромѣ тѣхъ, о которыхъ было выше сказано. Частицы воздуха, освѣщаемыя безцвѣтными лучами солнца, разсѣиваютъ голубые лучи. Такъ какъ мы не имѣемъ возможности судить объ удаленіи отъ насъ этихъ частицъ, то глазъ относитъ ихъ къ одному разстоянію; отсюда происходитъ явленіе полушаровой лазуревой поверхности, называемой *небеснымъ сводомъ* или просто *небомъ*. Чѣмъ частицы воздуха ближе къ горизонту, тѣмъ онѣ кажутся намъ дальше, такъ какъ по этому направленію много промежуточныхъ предметовъ; отъ этого, сводъ небесный кажется сплюснутымъ по вертикальному направленію. На томъ же началѣ основано объясненіе, почему луна и солнце кажутся въ горизонтѣ болѣе, нежели надъ горизонтомъ, не смотря на то, что углы зрѣнія въ обоихъ случаяхъ равны. Когда солнце въ горизонтѣ, то между нами и имъ находится множество промежуточныхъ предметовъ, отъ чего оно кажется далѣе, нежели когда подымается на значительную высоту. Кромѣ того, лучи свѣта, проходя длинные и густые слои атмосферы, сильно ослабляются, а потому свѣтило въ горизонтѣ не такъ ярко, какъ на нѣкоторой высотѣ; темныя же тѣла вообще кажутся далѣе. Такимъ образомъ, двѣ причины заставляютъ насъ предполагать, что солнце и луна въ горизонтѣ болѣе удалены отъ насъ, нежели когда они высоко стоятъ на

небесномъ сводѣ; но какъ уголъ зрѣнія въ обоихъ случаяхъ тотъ же самый, то эти свѣтила должны казаться больше.

392. Стереоскопъ. Каждый предметъ даетъ на сѣтчатыхъ оболочкахъ обоихъ глазъ по одному изображенію. Эти изображенія не одинаковы, различаясь одно отъ другого относительнымъ положеніемъ линій и тѣней, потому что оба глаза видятъ предметъ съ разныхъ сторонъ. Такъ, конусъ, стоящій на своемъ основаніи, для лѣваго глаза кажется, если смотрѣть сверху, въ видѣ фигуры *m* (фиг. 567), а для праваго—въ видѣ *n*; въ первомъ случаѣ вершина *r* конуса проектируется направо отъ центра основанія *c*, во второмъ—налѣво въ *s*. Кубъ для лѣваго глаза можетъ представиться подъ видомъ *m* (фиг. 568), а для праваго — какъ *n*.



Фиг. 567.

Здѣсь даже одна изъ сторонъ *a* видима только лѣвымъ глазомъ, а *b*—только правымъ.—Отсюда англійскій ученый Уйтстонъ вывелъ такое заключеніе. Если приготовить два рисунка: одинъ изображающій какой либо предметъ въ томъ видѣ, подъ какимъ онъ представляется лѣвому глазу, а другой — какъ правый глазъ видитъ тотъ же предметъ, и устроить такъ, чтобы каждый глазъ видѣлъ соотвѣтствующій ему рисунокъ, то на пересѣченіи оптическихъ осей должно представиться рельефное изображеніе предмета. Чтобы повѣрить это заключеніе на опытѣ, Уйтстонъ придумалъ приборъ, названный имъ *стереоскопомъ*, который былъ впослѣдствіи усовершенствованъ, и въ этомъ измѣненномъ видѣ состоитъ изъ пирамидальнаго ящика *AB* (фиг. 569): въ крышку вдѣланы два собирательныя стекла *a* и *b*, имѣющія утолщеніе къ одному изъ краевъ; такія стекла, собирая лучи, дѣйствуютъ вмѣстѣ съ тѣмъ какъ призмы. Нарисовавъ двѣ картины *m* и *n*, изображающія предметъ съ двухъ сторонъ, какъ онъ представляется обоимъ глазамъ, кладутъ на дно ящика. Лучи, исходящіе отъ двухъ сходственныхъ точекъ картинъ *m* и *n*, т. е. точекъ, изображающихъ одну и ту же точку предмета, преломятся въ стеклахъ и отклонятся къ основанію призмъ. Если будемъ смотрѣть чрезъ трубки *a* и *b*, то намъ покажется, что эти сходственныя точки нахо-

Фиг. 568.

дятся въ p, на кажущемся пересѣченіи преломленныхъ лучей. Разстояніе точки p отъ глаза зависитъ отъ расположенія сходственныхъ точекъ на картинахъ; поэтому, разныя точки изображаемаго предмета представляются въ различномъ удаленіи отъ глаза, и предметъ является предъ нами не какъ картина, а во всей своей рельефности, то есть какъ будто бы мы его непосредственно видѣли. Иллюзія до такой степени велика, что отъ нея невозможно освободиться. Особенно интересны стереоскопическіе чертежи, изображающіе разныя геометрическія фигуры; здѣсь нѣтъ надобности даже класть тѣни — однихъ очертаній, какъ напр. на фиг. 568, совершенно достаточно.

393. Нѣкоторыя необъясненныя свойства глаза. Глазъ имѣетъ множество такихъ свойствъ, которыя до сихъ поръ еще не были объяснены; сюда между прочимъ относятся:

1) *Случайные цвѣта.* Если долго смотрѣть на красное пятно, лежащее на бѣломъ полѣ, и потомъ перенести глаза на бѣлую же бумагу, или закрыть глаза, то увидимъ пятно дополнительнаго цвѣта, то есть синеватозеленаго; синее пятно даетъ желтое и проч. Это явленіе извѣстно подъ названіемъ случайныхъ цвѣтовъ.

2) *Субъективныя изображенія.* Субъективными изображеніями называются тѣ быстро измѣняющіеся въ цвѣтахъ кружки, которые мелькаютъ предъ глазами, послѣ того какъ мы нѣсколько времени смотрѣли на солнце, или весьма яркій предметъ.

3) *Окрашенныя тѣни.* Если пропустить свѣтъ свѣчи чрезъ красное стекло и принять на бумагу тѣнь отъ палочки, то тѣнь будетъ не темная, какъ бы слѣдовало ожидать, но окрашена въ дополнительный цвѣтъ, т. е. въ зеленый. Обратно, если стекло зеленое, то тѣнь получается красная.

4) Есть лица, которыя не могутъ различать двухъ или многихъ цвѣтовъ. Такъ, Дальтонъ не отличалъ зеленаго цвѣта отъ краснаго: вишни онъ распознавалъ отъ листьевъ только по ихъ формѣ. Упоминаютъ еще объ одномъ индивидуумѣ, который зналъ только два цвѣта: лучи, мало преломляющіеся, какъ желтый, красный и проч., производили на него одно впечатлѣніе, наиболѣе преломляющіеся—фіолетовый, синій и проч.—другое.

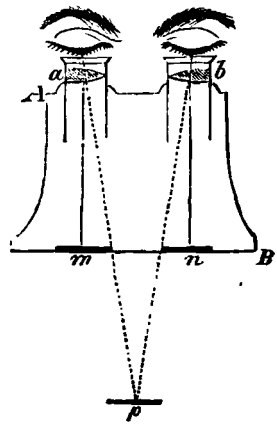
Къ упомянутымъ явленіямъ относятся еще многія другія, излагаемыя въ подробныхъ курсахъ. Разъясненіе причинъ ихъ скорѣе можно ожидать отъ физіологіи, нежели отъ физики.

Оптическіе приборы.

394. *Оптическими приборами* называются такіе, которыхъ устройство основано на свойствахъ свѣта. Къ нимъ, между прочимъ принадлежатъ: очки, микроскопъ, телескопъ, камера люцида [348],

камера обскура [359], солнечный микроскопъ [360], волшебный фонарь и проч.

Очки. *Очками* называются сферическія стекла, употребляемыя близорукими и дальнозоркими въ помощь зрѣнію: близорукими для того, чтобы ясно видѣть предметы отдаленные, дальнозоркими — для разсматриванія предметовъ близкихъ. Недостатокъ близорукаго глаза заключается въ томъ, что онъ слишкомъ сильно преломляетъ лучи, которые, поэтому, пересѣкаются передъ сѣтчатой оболочкой и даютъ изображенія неясныя. Чтобы отодвинуть изображеніе на сѣтчатую оболочку, надо лучи разсѣять, до вступленія ихъ въ глазъ, посредствомъ разсѣивательнаго стекла. Такимъ образомъ, близорукіе должны употреблять очки вогнутые, и притомъ только для разсматриванія предметовъ удаленныхъ; ближайшіе же предметы они видятъ и безъ очковъ и даже лучше, нежели люди съ нормальными глазами, потому что могутъ придвинуть предметъ къ себѣ ближе и, слѣдовательно, съ ясностью различить его мелкія подробности.



Фиг. 569.

Дальнозоркій глазъ имѣетъ недостаточную преломляющую силу, а потому лучи, до вступленія ихъ въ глазъ, должно не разсѣять, но собрать, поставивъ передъ глазомъ собирательное стекло. Слѣдовательно, дальнозоркіе должны носить очки выпуклые и только для разсматриванія предметовъ близкихъ.

395. Простой микроскопъ. Когда предметъ приближается къ глазу, то изображеніе на сѣтчатой оболочкѣ увеличивается и обнаруживаются подробности, которыя прежде не были видны. Самое выгодное разстояніе предмета отъ глаза, при нормальномъ зрѣніи, — 9 дюймовъ. Пусть тѣло AB (фиг. 570) находится въ такомъ положеніи, то есть удалено отъ глаза на разстояніе наилучшаго зрѣнія. Если перенесемъ предметъ въ A_1B_1, еще ближе къ глазу, то лучи сдѣлаются болѣе расходящимися; изображеніе сдѣлается больше прежняго, но отодвинется за сѣтчатую оболочку и потому произведетъ неясное впечатлѣніе. Чтобы привести изображеніе на сѣтчатую оболочку, ставятъ между предметомъ и глазомъ такое собирательное стекло, котораго главный фокусъ F находился бы за предметомъ. Тогда лучи будутъ повернуты къ главной оптической оси, и хотя еще останутся расходящимися, но менѣе прежняго, а потому можетъ случиться, что изображе-

*

ніе ляжетъ какъ разъ на сѣтчатую оболочку. Но чтобы видѣть предметъ подробнѣйшимъ образомъ, его надо придвинуть къ глазу до предѣла способности приспособляться. Поэтому, лучи, послѣ преломленія, должны быть на столько разсѣянными, что казались бы выходящими изъ точекъ, удаленныхъ отъ глаза на разстояніе наилучшаго зрѣнія, а для этого мнимое изображеніе A_2B_2 предмета A_1B_1 должно совпадать съ AB, то есть съ тѣмъ положеніемъ предмета, когда мы видимъ его съ наибольшею подробностью непосредственно глазомъ. Собирательное стекло, дающее возможность видѣть предметы ближе разстоянія наилучшаго зрѣнія, слѣдовательно, болѣе подробно и потому въ увеличенномъ видѣ [391], называется *простымъ микроскопомъ* или *лупою*.

Чѣмъ сильнѣе собирательное стекло преломляетъ лучи, или, что все равно, чѣмъ менѣе его фокусное разстояніе, тѣмъ предметъ можно поставить ближе къ глазу, и тѣмъ, слѣдовательно, будетъ болѣе изображеніе на сѣтчатой оболочкѣ.

Увеличиваніе, производимое простымъ микроскопомъ, вычисляется такъ. Очевидно, предметъ покажется во столько разъ больше своей натуральной величины, во сколько величина мнимаго изображенія A_2B_2 болѣе дѣйствительной величины предмета AB; число, выражающее отношеніе $\frac{A_2B_2}{AB}$, и есть увеличиваніе. Посмотримъ, какъ зависитъ оно отъ данныхъ величинъ. Изъ подобныхъ треугольниковъ cA_1B_1 и cA_2B_2, гдѣ c есть оптическій центръ стекла, находимъ $\frac{A_2B_2}{AB}=\frac{A_2B_2}{A_1B_1}=\frac{cN}{cN_1}$. Но какъ cN весьма мало отличается отъ разстоянія наилучшаго зрѣнія, которое мы обозначимъ чрезъ m, то, обозначивъ еще cN_1 чрезъ d, можно безъ большой погрѣшности допустить, что увеличиваніе выражается дробью

$$\frac{m}{d}.$$

Остается только вычислить d. Извѣстно, что преломленіе свѣта въ сферическомъ стеклѣ выражается формулой [354]

$$\frac{1}{d}+\frac{1}{f}=\frac{1}{F},$$

гдѣ d означаетъ cN_1—разстояніе предмета A_1B_1 отъ стекла, F—главное фокусное разстояніе и f—фокусное разстояніе для непараллельныхъ лучей. Въ разсматриваемомъ случаѣ, должно положить, что $f=-m$. Тогда найдемъ:

$$\frac{1}{d}-\frac{1}{m}=\frac{1}{F}$$

откуда

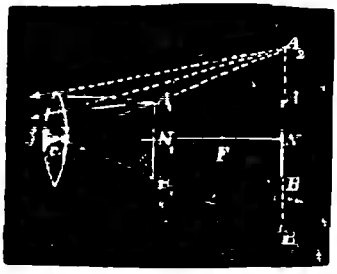
$$\frac{1}{d}=\frac{1}{m}+\frac{1}{F}=\frac{m+F}{mF},$$

что, послѣ умноженія на m, даетъ:

$$\frac{m}{d}=\frac{m+F}{F},$$

то есть увеличиваніе $=\frac{m}{F}+1$.

Слѣдовательно, *увеличиваніе простого микроскопа равно отношенію разстоянія наилучшаго зрѣнія къ главному фокусному разстоянію стекла плюсъ единица.* Такъ, при нормальномъ глазѣ, котораго разстояніе наилучшаго зрѣнія есть 9 дюймовъ, стекло съ главнымъ фокуснымъ разстояніемъ въ дюймъ даетъ увеличиваніе 10.



Фиг. 570.

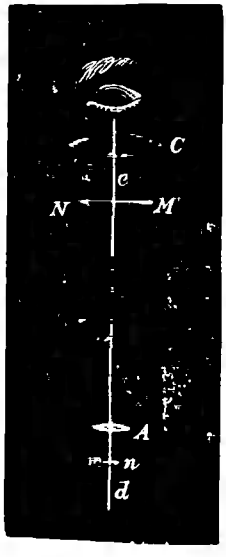
Когда F мало, то $\frac{m}{F}$ весьма велико относительно 1; въ этомъ случаѣ, можно принять, что увеличеніе равно $\frac{m}{F}$.

Весьма большому увеличенію препятствуютъ многія обстоятельства.

Лучи, выходящіе изъ предмета, занимаютъ на сѣтчатой оболочкѣ тѣмъ большее пространство, чѣмъ болѣе увеличиваніе микроскопа; поэтому, изображеніе при большомъ увеличиваніи, будетъ весьма слабо освѣщено. Поставивъ предметъ близко къ глазу, мы необходимо заслоняемъ головой свѣтъ, и предметъ еще болѣе теряетъ въ освѣщеніи. Уменьшая фокусное разстояніе, мы должны уменьшать и діаметръ стекла, чтобы ослабить вліяніе сферической аберраціи, но тогда въ глазъ проникаетъ очень мало лучей отъ предмета, и изображеніе будетъ недостаточно освѣщено.

Сочетаніемъ двухъ стеколъ можно значительно ослабить вліяніе аберраціи; такое сочетаніе называется *апланатическою лупою.*

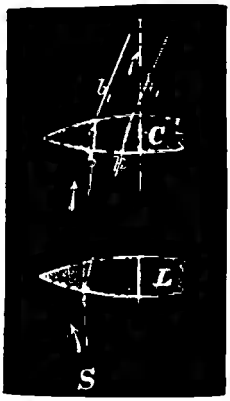
396. Сложный микроскопъ. Для полученія очень большихъ увеличиваній употребляютъ сложный микроскопъ. Существенныя части его — два собирательныя стекла: *предметное* (объективъ) A (фиг. 571) и *глазное* (окуляръ) C, заключенныя въ общую трубку. Линія ed, проведенная чрезъ оптическіе центры обоихъ стеколъ, называется *оптическою осью* сложнаго микроскопа. Подъ предметнымъ стекломъ, между его фокуснымъ и двойнымъ фокуснымъ разстояніями, помѣщаютъ предметъ mn, котораго изображеніе MN получится, поэтому, за двойнымъ фокуснымъ разстояніемъ объектива, въ обратномъ и увеличенномъ видѣ [356]. Это изображеніе разсматривается помощію собирательнаго стекла C, дѣйствующаго какъ простой микроскопъ. Такимъ образомъ, сложный микроскопъ отличается отъ простого тѣмъ, что помощію второго мы разсматриваемъ самый предметъ, а первымъ—обратное и увеличенное изображеніе предмета. Если стекло A



Фиг. 571.

увеличивало въ 20 разъ, C—въ 10, то общее увеличеніе будетъ произведеніе этихъ чиселъ, то есть 200. Изображенія, доставляемыя сложнымъ микроскопомъ,—обратныя, потому что только стекло A даетъ обратное изображеніе, стекло же C, какъ простой микроскопъ,—прямое.

Для ослабленія хроматической аберраціи окуляра, его составляютъ изъ двухъ стеколъ, расположенныхъ въ нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга.



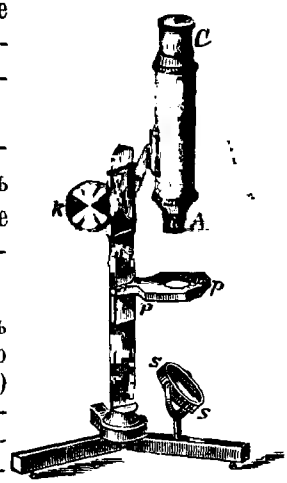
Фиг. 572.

Чтобы понять возможность этого, разсмотримъ одинъ изъ лучей S (фиг. 572), идущихъ отъ объектива. Лучъ Si, падая на стекло L, преломится и разложится на множество цвѣтныхъ лучей, изъ которыхъ b пусть будетъ красный, а k—фіолетовый. Эти лучи встрѣчаютъ второе собирательное стекло C и поворачиваются имъ, но въ разной степени: красный лучъ, падающій около краевъ стекла, слѣдовательно, на часть болѣе преломляющую, отклонится болѣе, нежели фіолетовый, который идетъ ближе къ серединѣ, гдѣ преломленіе меньше. Стекла L и C можно взять съ такими кривизнами и такъ ихъ расположить, что выходящіе лучи красный b_1 и фіолетовый k_1 будутъ параллельны. Нельзя со всей строгостью выполнить это условіе для всѣхъ цвѣтныхъ лучей и для всѣхъ точекъ стекла L и, слѣдовательно, достигнуть полнаго ахроматизма, но, по крайней мѣрѣ, аберрація можетъ быть устранена въ достаточной степени.

Такія два стекла, заключенныя въ одну общую трубку, составляютъ *сложный окуляръ*. Для сохраненія надлежащей чистоты изображеній, недостаточно одного этого средства, необходимо еще самый объективъ дѣлать ахроматическимъ и апланатическимъ; было бы крайне затруднительно соединить стекла изъ разныхъ веществъ, такъ какъ объективъ, по причинѣ большой кривизны поверхности, долженъ быть, для уменьшенія аберраціи, чрезвычайно малъ. Обыкновенно же поступаютъ такъ. Заготовляютъ множество разной кривизны собирательныхъ стеколъ въ оправахъ, которыя, по мѣрѣ надобности, можно свинчивать въ большемъ или меньшемъ числѣ, и выбираютъ самыя выгодныя ихъ сочетанія, т. е. съ наименьшею аберраціею. Для полученія возможно большихъ увеличиваній объективы приготовляютъ изъ стеколъ сильно преломляющихъ и даже драгоцѣнныхъ камней.

Объективъ A и окуляръ C (фиг. 573) утверждаются въ одной общей трубкѣ AC; предметъ кладутъ на столикъ pp, надъ отверстіемъ O; зеркало ss сосредоточиваетъ лучи какого либо источника свѣта на разсматриваемомъ предметѣ; если предметъ не прозраченъ, то лучи собираются двояковыпуклымъ стекломъ и направляются на предметъ сверху. Такъ какъ предметъ mn (фиг. 571) помѣщается

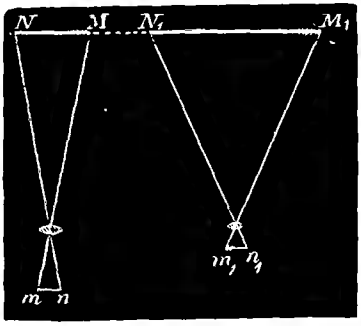
близко отъ главнаго фокуса, то малѣйшее передвиженіе трубки AC (фиг. 573) производитъ огромное измѣненіе въ положеніи изображенія. Поэтому, вся трубка AC передвигается помощію микрометрическаго винта k.



Фиг. 573.

Если придвинемъ микроскопъ къ предмету, то лучи будутъ вступать въ объективъ болѣе расходящимися, а потому близорукіе должны ближе ставить микроскопъ къ предмету, чѣмъ дальнозоркіе.

Увеличиваніе сложнаго микроскопа имѣетъ предѣлъ, за который переходить не выгодно; оно зависитъ отъ разстоянія предмета mn (фиг. 571) отъ объектива, а также отъ фокусныхъ разстояній объектива и окуляра. Если предметъ приблизить къ объективу, то изображеніе MN сдѣлается болѣе и удалится; на практикѣ это неудобно потому что пришлось бы изготовлять весьма высокіе микроскопы. Если уменьшимъ фокусное разстояніе объектива, то для полученія изображенія MN на прежнемъ мѣстѣ, надо предметъ mn приблизить къ объективу; отъ этого, изображеніе MN увеличится; слѣдовательно, при одной и той же длинѣ микроскопа увеличиваніе его тѣмъ болѣе, чѣмъ фокусное разстояніе объектива менѣе. Въ этомъ можно убѣдиться изъ фигуры 574, гдѣ mn и m_1n_1 представляютъ одинъ и тотъ же предметъ, поставленный предъ объективами двухъ микроскоповъ, MN и M_1N_1—изображенія, mM и nN, m_1M_1 и n_1N_1—побочныя оптическія оси. Правый объективъ сильнѣе преломляетъ, чѣмъ лѣвый. Чтобы изображеніе MN и M_1N_1 были въ одинаковомъ удаленіи отъ своихъ объективовъ, надо предметъ m_1n_1 поставить ближе къ объективу, чѣмъ предметъ mn. Тогда очевидно M_1N_1 будетъ болѣе MN.—Увеличиваніе сложнаго микроскопа возрастаетъ еще съ уменьшеніемъ фокуснаго разстоянія окуляра.



Фиг. 574.

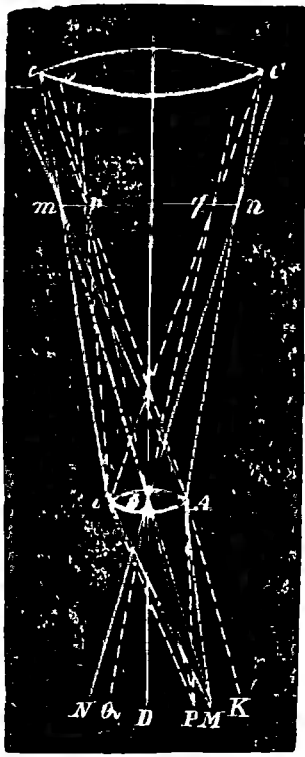
Увеличиваніе сложнаго микроскопа можетъ простираться до 4000, хотя изображенія тогда недовольно ясны; для сохраненія надлежащей отчетливости, не должно употреблять увеличиваній выше 500. Здѣсь разумѣются увеличиванія линейныя или увеличиванія предмета по одному направленію, напр. въ длину; чтобы получить увеличиваніе плоскостное или поверхностное, надо линейное возвысить въ квадратъ. Если напр. линейное увеличиваніе микроскопа есть 1000, то плоскост-

ное будетъ 1000000. Слишкомъ большое увеличиваніе сопряжено еще съ тою невыгодой, что вмѣстѣ съ нимъ уменьшается величина обозрѣваемаго пространства или *поле зрѣнія*.

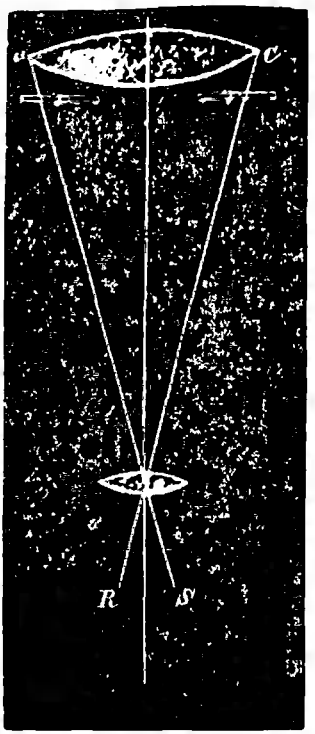
Этому термину даютъ въ оптикѣ значеніе болѣе точное. Глазъ можетъ видѣть чрезъ микроскопъ только тѣ точки, отъ которыхъ лучи, пройдя чрезъ объективъ *Aa* (фиг. 575), попадутъ на окуляръ *Cc* и, слѣдовательно, будутъ находиться внутри усѣченнаго конуса *AaCc*, обвертывающаго стекла *Aa* и *Cc*. Опредѣлимъ эти точки. Пусть *mn* изображаетъ поверхность, на которой располагаются фокусы внѣшнихъ точекъ. Изъ точки *m*, взаимнаго пересѣченія этой поверхности съ прямою *ac*, проведемъ прямую *mM* чрезъ оптическій центръ стекла *Aa*; эта прямая должна встрѣтить ту внѣшнюю точку *M*, для которой *m* служитъ фокусомъ. Всѣ лучи, выходящіе изъ такой точки *M*, какъ напр. *Ma* и *MA*, преломясь въ стеклѣ *Aa*, пересѣкутся въ *m* и, очевидно, пройдутъ мимо окуляра *Cc*, кромѣ луча *ac*, который только коснется. Лучи, испускаемые всякой другой точкой *K*, отстоящей дальше отъ оптической оси, нежели *M*, также не попадутъ на *Cc*. Напротивъ, лучи точекъ, которыя ближе лежатъ къ оптической оси, частью, или всѣ пройдутъ чрезъ окуляръ. Опредѣлимъ тѣ точки, отъ которыхъ лучи, послѣ преломленія въ объективѣ, всѣ упадутъ на стекло *Cc*. Для этого соединимъ діаметрально противоположныя точки *c* и *A* обоихъ стеколъ прямою линіею *Ac* и изъ точки ея пересѣченія *p* съ поверхностью *mn* проведемъ линію *pP* чрезъ оптическій центръ объектива; мы встрѣтимъ тогда точку *P*, которой фокусъ будетъ въ *p*; всѣ лучи, упавшіе изъ этой точки на объективъ, придутъ въ *p* и, послѣ взаимнаго пересѣченія, попадутъ на окуляръ *Cc*, кромѣ луча *Ac*, который только коснется. Лучи точекъ, лежащихъ между *M* и *P*, послѣ преломленія въ объективѣ, частію проходятъ чрезъ окуляръ, частію мимо; но лучи точекъ, которыя лежатъ ближе къ оптической оси, всѣ упадутъ на окуляръ. Заставивъ линіи *PO* и *MO* вращаться около оптической оси, такъ чтобы углы *POD* и *MOD* не измѣнялись; мы получимъ два конуса *POQ* и *MON*. Всѣ лучи точекъ, лежащихъ внутри перваго конуса, послѣ преломленія въ объективѣ, достигнутъ окуляра; напротивъ, ни одинъ изъ лучей точекъ, лежащихъ внѣ конуса *NOM*, не упадетъ на окуляръ *Cc*. Уголъ *ROS* (фиг. 576) или равный ему *cOC*, составленный двумя линіями, проведенными изъ оптическаго центра объектива къ краямъ окуляра, называютъ *полемъ зрѣнія*; этотъ уголъ болѣе угла *QOP* (фиг. 575) или яснаго поля зрѣнія и менѣе угла *NOM* или неяснаго поля зрѣнія и весьма мало отличается отъ каждаго изъ нихъ.—Такъ какъ на краяхъ сферическихъ стеколъ, даже ахроматическихъ и апланатическихъ, есть аберрація, то крайніе лучи иногда задерживаютъ круглой пластинкой *rr* (фиг. 576), въ серединѣ которой сдѣлано большей или меньшей величины отверстіе для пропусканія центральныхъ лучей; эта пластинка называется *діафрагмой*. Если въ микроскопѣ есть діафрагма, то во всѣхъ предыдущихъ разсмотрѣніяхъ должно брать во вниманіе не величину окуляра, а отверстіе діафрагмы. Чѣмъ послѣднее менѣе, тѣмъ поле зрѣнія менѣе, но за то изображеніе чище.

Чтобы микроскопъ давалъ возможно большія увеличиванія при одномъ и томъ же объективѣ, надо, чтобы изображеніе *MN* (фиг. 571) было больше и, слѣдовательно, дальше отстояло отъ объектива, или должно при томъ же положеніи изображенія *MN* уменьшить главное фокусное разстояніе окуляра;

первое влечетъ удлиненіе микроскопа, второе уменьшеніе діаметра окуляра, и какъ то, такъ и другое уменьшаютъ уголъ ROS (фиг. 576). Такимъ образомъ, видимъ, что увеличиваніе и поле зрѣнія зависятъ отъ обстоятельствъ совершенно противоположныхъ. Прибавленіе стекла L (фиг. 572) къ окуляру, для уменьшенія аберраціи, увеличиваетъ вмѣстѣ съ тѣмъ поле зрѣнія. Дѣйствительно, лучи ac и AC (фиг. 575), преломясь въ прибавочномъ стеклѣ, попадутъ не на края окуляра Cc, а ближе къ серединѣ, а потому теперь предѣльными лучами сдѣлаются иные, которые прежде проходили мимо стекла Cc. Можно бы увеличиваніе сдѣлать еще болѣе, оставляя ту же длину микроскопа и не измѣняя окуляра и, слѣдовательно, не уменьшая поля зрѣнія, — чрезъ уменьшеніе фокуснаго разстоянія объектива, но тогда весьма затруднительно устранять аберрацію.



Фиг. 575.



Фиг. 576.

Увеличиваніе можно найти изъ опыта. Берутъ двѣ линейки: одну, раздѣленную на тысячныя доли линіи, кладутъ на столикъ подъ объективъ, другую, раздѣленную на линіи, помѣщаютъ въ разстояніи наилучшаго зрѣнія; на первую смотрятъ чрезъ микроскопъ однимъ глазомъ, а на вторую непосредственно другимъ глазомъ, и замѣчаютъ, сколько одно дѣленіе второй покрываетъ дѣленій первой. Если бы случилось, что 4 дѣленія линейки, положенной подъ микроскопъ, казались равными одному дѣленію другой, то это показало бы, что увеличиваніе микроскопа равно 250.

Для измѣренія величины микроскопическихъ предметовъ, укрѣпляютъ въ томъ мѣстѣ микроскопа, гдѣ получается изображеніе, стеклянную линейку, на которой сдѣланы очень мелкія дѣленія. Тогда будемъ видѣть чрезъ окуляръ на одномъ и томъ же мѣстѣ линейку и изображеніе предмета; замѣ-

тимъ, сколько дѣленій занимаетъ изображеніе; останется только опредѣлить кажущуюся величину дѣленій линейки. Для этого, на столикъ *pp* (фиг. 573) кладутъ шкалу, раздѣленную на сотыя доли миллиметра. Тогда не трудно будетъ найти, сколько одному дѣленію линейки соотвѣтствуетъ дѣленій шкалы.

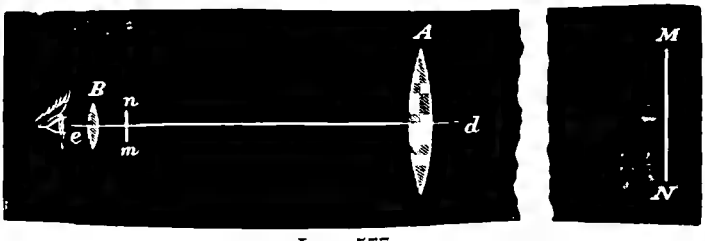
Микроскопъ имѣетъ весьма важныя приложенія. При его помощи были открыты весьма мелкія животныя, называемыя инфузоріями, которыя такъ малы, что въ одной каплѣ стоячей болотной воды ихъ находятся тысячи; тѣмъ же снарядомъ было изслѣдовано строеніе тѣлъ животныхъ и растеній.

Микроскопъ оказываетъ большія услуги химіи. Посредствомъ его почти всегда можно опредѣлить, однороденъ ли разсматриваемый предметъ, или состоитъ изъ разныхъ веществъ. Такимъ образомъ, было доказано, что кермесъ или свѣтложелтая сѣрнистая сурьма состоитъ изъ двухъ веществъ: одного бѣлаго кристаллическаго (окиси сурьмы) и другого бураго (сѣрнистая сурьма). Плауновое сѣмя и порошокъ сѣры, извѣстный въ продажѣ подъ именемъ сѣрнаго цвѣта, — тѣла съ виду весьма похожія, — легко различаются помощію микроскопа.

Волокна льна, хлопчатой бумаги, шерсти и пеньки представляютъ подъ микроскопомъ разное устройство. Такимъ образомъ, помощію этого прибора, можно опредѣлить, изъ чего сдѣлана ткань, что въ практикѣ весьма важно, потому что нерѣдко въ торговлѣ издѣлія одного рода выдаютъ за другія; такъ, полотно, иногда, кромѣ льна, содержитъ большее или меньшее количество хлопчатой бумаги.

397. Телескопъ. *Телескопомъ* называется приборъ, посредствомъ котораго можно подробнѣе, нежели простымъ глазомъ, видѣть предметы весьма удаленные. Телескопы бываютъ *діоптрическіе* или *рефракторы* и *катоптрическіе* и *рефлекторы*; первые основаны только на преломленіи свѣта, вторые — на преломленіи и отраженіи. Изъ діоптрическихъ телескоповъ замѣтимъ: телескопъ Кеплера, подзорную и театральную трубки; изъ катоптрическихъ — телескопы Ньютона и Гершеля.

Телескопъ Кеплера. *Телескопъ Кеплера* или *небесная труба* употребляется для наблюденія надъ небесными тѣлами. Онъ состоитъ изъ двухъ собирательныхъ стеколъ: окуляра *B* (фиг. 577) и объектива



Фиг. 577

A, который дѣлается ахроматическимъ и апланатическимъ. Линія de, проходящая чрезъ оптическіе центры обоихъ стеколъ, называется оптическою осью телескопа. Лучи отъ свѣтила MN проходя чрезъ стекло A, преломляются и даютъ обратное изображеніе mn, которое будетъ почти въ главномъ фокусѣ объектива, такъ какъ предметъ MN весьма удаленъ отъ наблюдателя; полученное изображеніе разсматривается помощію окуляра, замѣняющаго здѣсь простой микроскопъ. Въ телескопѣ Кеплера предметы кажутся въ обратномъ видѣ, что впрочемъ въ отношеніи небесныхъ свѣтилъ не составляетъ большого неудобства.

Изображеніе mn будетъ менѣе предмета MN во столько разъ, во сколько разстояніе перваго отъ стекла менѣе разстоянія второго. Назвавъ эти разстоянія соотвѣтственно чрезъ f и d, найдемъ, что отношеніе величины изображенія къ величинѣ предмета выразится числомъ

$$\frac{f}{d},$$

въ чемъ легко убѣдиться изъ разсмотрѣнія фигуры 527. Это число выразило бы также отношеніе между величинами изображеній на сѣтчатой оболочкѣ глаза, получаемыхъ отъ mn и MN, если бы предметъ MN и его изображеніе mn были одинаково удалены отъ наблюдателя. Но изображеніе mn мы можемъ придвинуть къ себѣ до предѣла способности приспособляться; поэтому, отношеніе между величинами изображеній на сѣтчатой оболочкѣ, когда смотримъ на mn въ разстояніи наилучшаго зрѣнія m, а на MN—въ разстояніи d, болѣе отношенія $\frac{f}{d}$ въ $\frac{d}{m}$ разъ и, слѣдовательно, выразится произведеніемъ:

$$\frac{f}{d}\cdot\frac{d}{m} \text{ или } \frac{f}{m}.$$

Такимъ образомъ, число $\frac{f}{m}$ означаетъ увеличиваніе, когда изображеніе mn наблюдается непосредственно глазомъ. Если же будемъ разсматривать mn посредствомъ простого микроскопа B, то, назвавъ главное фокусное разстояніе послѣдняго чрезъ F, будемъ имѣть, что увеличиваніе телескопа равно [395]

$$\frac{f}{m}\left(1+\frac{m}{F}\right).$$

Пренебрегая здѣсь 1 предъ числомъ $\frac{m}{F}$, которое вообще довольно значительно, получимъ болѣе простое, хотя менѣе точное, выраженіе

$$\frac{f}{F} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (F)$$

Такъ какъ, по причинѣ большого удаленія предметовъ, можно считать, что изображеніе ихъ получается въ главномъ фокусѣ предметнаго стекла, то изъ предыдущей формулы выходитъ, что *увеличиваніе небеснаго телескопа равно главному фокусному разстоянію объектива, дѣленному на главное фокусное разстояніе окуляра.*

Увеличеніе телескопа тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе изображеніе mn, и чѣмъ менѣе главное фокусное разстояніе глазного стекла, а изобра-

женіе mn будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ фокусное разстояніе объектива болѣе, въ чемъ не трудно убѣдиться при помощи построенія [356]. Итакъ, увеличиваніе телескопа возрастаетъ, когда фокусное разстояніе объектива увеличивается, а фокусное разстояніе окуляра уменьшается.

То же видно изъ формулы (F), потому что, съ уменьшеніемъ знаменателя F и возрастаніемъ числителя f, дробь $\frac{f}{F}$ увеличивается.

Увеличиваніе трубы можно найти изъ опыта; ее направляютъ на большую скалу, поставленную въ отдаленіи; однимъ глазомъ смотрятъ чрезъ телескопъ, а другимъ непосредственно, и замѣчаютъ, сколько одно дѣленіе, видимое помощію трубы, покрываетъ дѣленій, наблюдаемыхъ невооруженнымъ глазомъ. Число этихъ дѣленій выразитъ увеличеніе телескопа.

Чрезъ телескопъ мы видимъ предметы подъ бо́льшимъ уго́ломъ зрѣнія, нежели непосредственно, а потому различаемъ больше подробностей. Кромѣ того, труба даетъ возможность проникнуть въ глазъ большему количеству лучей, въ отношеніи квадратовъ діаметровъ объектива и зрачка; но изъ этого не слѣдуетъ, что труба во столько же разъ увеличиваетъ яркость изображеній на сѣтчатой оболочкѣ глаза, потому что увеличенное изображеніе занимаетъ большую поверхность. Яркость изображеній можетъ даже уменьшиться, если увеличеніе телескопа весьма велико сравнительно съ размѣрами объектива. Если, наприм., діаметръ объектива болѣе діаметра зрачка въ 20 разъ, а увеличеніе трубы равно 800, то изображенія ослабѣютъ въ 2 раза.

Чтобы достигнуть возможно большаго увеличенія, надо уменьшать фокусное разстояніе окуляра и увеличивать фокусное разстояніе объектива; но какъ то, такъ и другое имѣютъ свои предѣлы, за которые переходить невыгодно.

Уменьшеніе фокуснаго разстоянія окуляра увеличиваетъ аберрацію, для ослабленія которой надо уменьшать діаметръ глазного стекла, что влечетъ за собой (когда глазное стекло сдѣлается меньше зрачка) слабое освѣщеніе изображенія. Кромѣ того, вообще при большихъ увеличиваніяхъ, освѣщеніе очень слабо, потому что свѣтъ распространяется по большой поверхности. Можно бы устранить этотъ недостатокъ, увеличивая объективъ, чтобы въ трубу проходило болѣе свѣта, но тогда непомѣрно возрастаетъ цѣна трубы, потому что до сихъ поръ не найдено удовлетворительнаго метода для приготовленія большихъ флинтгласовыхъ стеколъ, а существующими способами весьма трудно получить однородный флинтгласъ, то есть такой, который бы по всей своей массѣ имѣлъ одного и того же показателя преломленія и не за-

ключалъ въ себѣ пузырьковъ и нечистотъ. При малыхъ увеличиваніяхъ телескопа эти обстоятельства не могутъ оказать значительнаго вліянія на отчетливость изображеній, но при большихъ—они имѣютъ весьма важное значеніе.

Увеличиваніе фокуснаго разстоянія объектива влечетъ за собой удлиненіе трубы, сопряженное съ большими неудобствами при наблюденіяхъ. Вмѣстѣ съ тѣмъ, необходимо увеличить объективъ, чтобы изображенія, сдѣлавшись больше, не были слабы.

Парижская обсерваторія обладаетъ рефракторомъ, котораго объективъ имѣетъ въ діаметрѣ 38 сантиметровъ, а фокусное разстояніе 8 метровъ; увеличиваніе его болѣе 1000. Телескопъ обсерваторіи въ Кембриджѣ еще болѣе: діаметръ объектива 18½ дюймовъ. Пулковскій рефракторъ, хотя и меньшихъ размѣровъ (объективъ 12 дюйм.), но замѣчателенъ по своимъ превосходнымъ качествамъ.

Кромѣ того, при большомъ увеличиваніи бываетъ весьма мало поле зрѣнія.

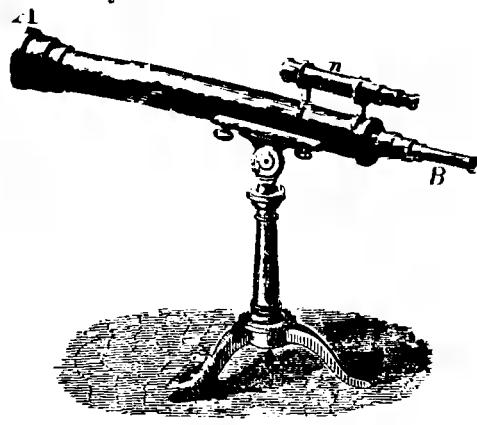
Поле зрѣнія возрастаетъ съ укорачиваніемъ трубы и съ увеличеніемъ діаметра окуляра—обстоятельства прямо противоположныя тѣмъ, отъ которыхъ зависитъ увеличиваніе телескопа. Поле зрѣнія можно увеличить и, вмѣстѣ съ тѣмъ, укоротить трубу, помѣстивъ между окуляромъ и объективомъ собирательное стекло.

При угловыхъ измѣреніяхъ весьма важно имѣть въ телескопѣ постоянную точку, чтобы ее можно было направить на опредѣленное мѣсто въ пространствѣ; для этого, въ главномъ фокусѣ объектива натягиваютъ на крестъ паутиновыя нити перпендикулярно къ оптической оси трубы. Эти нити, видимыя чрезъ окуляръ, будутъ казаться совпадающими съ разсматриваемымъ предметомъ; направляя трубу такъ, чтобы пересѣченіе нитей совпадало съ разными точками пространства, можно измѣрять угловыя разстоянія.

Для полученія надлежащей чистоты въ изображеніяхъ, предметное стекло должно дѣлать ахроматическимъ и апланатическимъ. Окуляръ составляютъ изъ двухъ стеколъ, такой кривизны и помѣщая ихъ въ такомъ разстояніи одно отъ другаго, чтобы аберрація была какъ можно менѣе.

Окуляры бываютъ двухъ родовъ; въ однихъ изображеніе лежитъ внѣ обоихъ стеколъ L и C (фиг. 572), ближе къ объективу, въ другихъ—помѣщается между этими стеклами; первый изобрѣтенъ Рамсденомъ, второй —Гюйгенсомъ. Окуляръ Рамсдена употребляется во всѣхъ случаяхъ, когда въ фокусѣ трубы нужно натянуть перекрестныя нити. Въ окулярѣ Гюйгенса этого сдѣлать нельзя, потому что тогда изображеніе нитей было бы не ясно; онъ употребляется въ такихъ телескопахъ, которые не приспособлены къ точнымъ измѣреніямъ.

Первое стекло L въ обоихъ окулярахъ помогаетъ увеличиванію поля зрѣнія, а потому называется *стекломъ поля зрѣнія*. Въ окулярѣ Гюйгенса, при одной и той же длинѣ телескопа и при томъ же увеличиваніи, поле зрѣнія больше, чѣмъ въ окулярѣ Рамсдена.

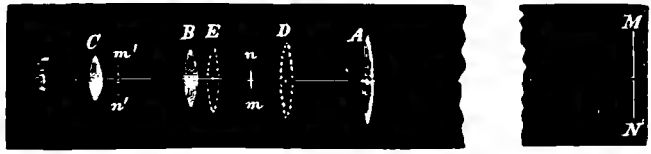


Фиг. 578.

Такимъ образомъ, телескопъ состоитъ изъ трехъ стеколъ: предметнаго A (фиг. 578), утвержденнаго на концѣ трубы, и сложнаго окуляра B, который заключенъ въ трубку, вдвинутую въ первую. Для близорукихъ окуляръ надо приближать къ объективу, для дальнозоркихъ удалять; окуляръ также нужно выдвигать по мѣрѣ того, какъ предметъ къ намъ приближается.

Трубы съ большими увеличиваніями, а, слѣдовательно, малымъ полемъ зрѣнія, весьма трудно направлять на предметъ; поэтому, къ нимъ придѣлываютъ маленькую трубку n, называемую *искателемъ*, которая имѣетъ такое положеніе, что, когда оптическая ея ось проходитъ чрезъ какой либо предметъ, то тотъ же самый предметъ будетъ находиться въ полѣ зрѣнія телескопа.

398. Подзорная труба. Телескопъ Кеплера даетъ обратныя изображенія и потому неудобенъ для разсматриванія земныхъ предметовъ. *Земной телескопъ* или *подзорная труба* не имѣетъ этого недостатка. Необходимыя части его три стекла A, B и C (фиг. 579). Лучи

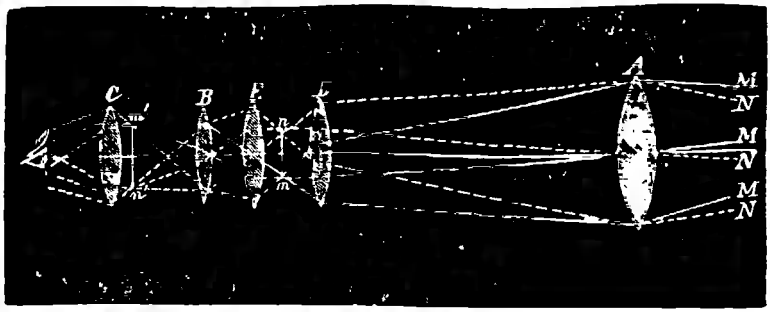


Фиг. 579.

предмета MN, послѣ преломленія въ объективѣ A, даютъ въ mn, чрезъ взаимное пересѣченіе, обратное изображеніе; потомъ, они расходятся, падаютъ на второе стекло B и составляютъ новое изображеніе $m'n'$, прямое съ предметомъ MN и разсматриваемое чрезъ микроскопъ C.

Объективъ дѣлается ахроматическимъ и апланатическимъ. Для уменьшенія аберраціи другихъ стеколъ C и B, къ нимъ присоединяются еще два D и E.

Всѣ пять стеколъ располагаютъ такъ, чтобы ходъ лучей былъ слѣдующій: преломясь въ объективѣ и стеклѣ D (фиг. 580), лучи, идущіе отъ верхней точки предмета и изображенные на фигурѣ непрерывными линіями M, собираются въ m; подобнымъ образомъ лучи N отъ нижней точки, обозначенные



Фиг. 580.

пунктиромъ, пересѣкаются въ точкѣ n; потомъ, лучи падаютъ на стекло E и выходятъ изъ него немного разсѣянными; затѣмъ, они преломляются въ стеклѣ B и даютъ изображеніе въ $m'n'$, которое разсматриваютъ съ помощію микроскопа C.

Объективъ A утверждается на концѣ трубы; прочія четыре стекла составляютъ сложный окуляръ и заключаются въ одну общую трубку, которая при надобности можетъ быть вдвигаема и выдвигаема.

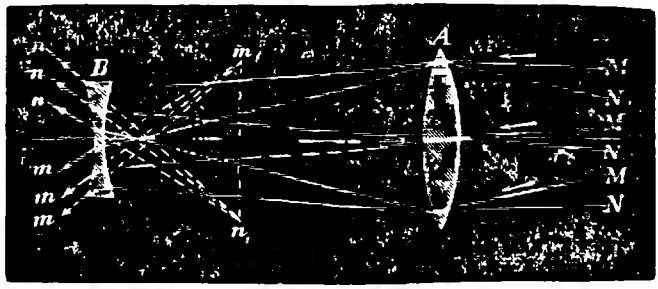
Въ подзорной трубѣ, какъ и въ небесномъ телескопѣ, предметы представляются подъ большимъ угломъ зрѣнія, нежели въ дѣйствительности; если эти предметы намъ хорошо знакомы, то не представляются болѣе своей натуральной величины, а только кажутся ближе.

Въ подзорной трубѣ изображенія слабѣе, нежели вътелескопѣ Кеплера, потому что въ первой больше стеколъ, отъ которыхъ много теряется свѣта чрезъ отраженіе.

399. Труба Галилея. *Галилеева труба*, названная такъ по имени изобрѣтателя ея Галилея, даетъ прямыя изображенія, хотя состоитъ только изъ двухъ стеколъ. Объективъ A (фиг. 581) есть двояковыпуклое стекло. Лучи, выходящіе изъ верхней точки какого либо отдаленнаго предмета MN, преломясь въ объективѣ, пересѣкаются по другую сторону стекла, въ нѣкоторой точкѣ m; подобнымъ образомъ лучи, выходящіе изъ нижней точки предмета, собираются гдѣ нибудь въ n, такъ что въ mn получается изображеніе предмета MN. Но пусть между изображеніемъ mn и объективомъ A поставлено

Фиг. 581.

двояковогнутое стекло B, служащее *окуляромъ*; тогда лучи M (фиг. 582), вышедшіе изъ верхней точки предмета, чрезъ преломленіе въ этомъ стеклѣ, разсѣются и отклонятся отъ главной оптической оси; глазъ испытывая впечатлѣніе расходящихся лучей m, будетъ видѣть въ m_1, на кажущемся пересѣченіи ихъ, изображеніе верхней точки предмета.



Фиг. 582.

Подобнымъ построеніемъ можно убѣдиться, что нижнюю точку предмета глазъ увидимъ въ n_1, откуда лучи n кажутся выходящими. Такимъ образомъ, въ галилеевой трубѣ изображенія прямыя и мнимыя.

Объективъ дѣлаютъ не вполнѣ ахроматическимъ и апланатическимъ для того, чтобы остальною частью аберраціи уничтожить аберрацію окуляра.

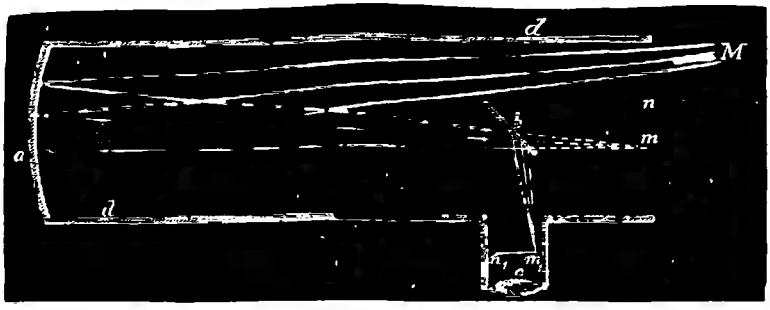
Весьма важное достоинство галилеевой трубы предъ прочими телескопами есть то, что, имѣя незначительную длину, она даетъ прямыя изображенія. Зато и недостатки ея велики. Такъ какъ здѣсь изображенія мнимыя, то нельзя натянуть нитей, и, слѣдовательно, эта труба не можетъ быть употреблена при точныхъ измѣреніяхъ. Лучи, по выходѣ изъ окуляра, отклоняются отъ оптической оси, а не приближаются къ ней, какъ въ другихъ телескопахъ; поэтому, очень немного лучей попадаетъ въ глазъ, и, слѣдовательно, труба Галилея должна имѣть ограниченное поле зрѣнія. Это обстоятельство не позволяетъ дѣлать большихъ увеличеній, и, дѣйствительно, въ практикѣ они не простираются далѣе 3 или 4. Двѣ трубы Галилея, соединенныя вмѣстѣ, составляютъ *бинокль* или *театральную трубку*.

Труба Галилея была первая по времени изъ телескоповъ; при ея помощи, Галилей открылъ спутниковъ Юпитера, горы на лунѣ, фазы Венеры и проч.

Идея катоптрическихъ телескоповъ родилась вскорѣ послѣ изобрѣтенія діоптрическихъ; не умѣли только преодолѣть то затрудненіе, что наблюдатель, находясь между зеркаломъ и предметомъ, долженъ заслонять собою свѣтъ. Существуетъ нѣсколько телескоповъ, въ которыхъ

это затрудненіе устранено различнымъ образомъ. Мы разсмотримъ телескопы Ньютона и Гершеля.

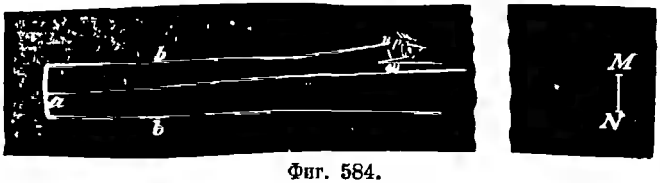
400. Телескопъ Ньютона. Въ телескопѣ Ньютона два зеркала: одно a (фиг. 583) вогнутое, помѣщенное въ глубинѣ трубы dd, и другое плоское b, наклоненное къ главной оптической оси перваго подъ



Фиг. 583.

угломъ въ 45^0, — и окуляръ c. Лучи M, идущіе отъ одной изъ крайнихъ точекъ весьма отдаленнаго предмета, отбрасываются зеркаломъ a такъ, что должны были бы собраться въ точкѣ m, близъ главнаго фокуса, но ранѣе этого они падаютъ на плоское зеркало, которое поворачиваетъ ихъ, не измѣняя, впрочемъ, ихъ взаимнаго наклоненія, такъ что точка m_1 пересѣченія отраженныхъ лучей будетъ въ такомъ же разстояніи отъ зеркала b, какъ и точка m, и на одномъ и томъ же перпендикулярѣ mm_1 къ зеркалу b. Подобнымъ образомъ лучи, исходящіе изъ точки предмета, діаметрально противоположной съ M, должны были бы собраться въ n, но, отразясь отъ зеркала b, пересѣкутся въ n_1. Вообще, въ m_1n_1 получится изображеніе предмета; оно разсматривается помощію окуляра c. Телескопъ Ньютона даетъ изображенія обратныя.

401. Телескопъ Гершеля. Гершель, для уменьшенія потери свѣта при отраженіяхъ, бралъ для своихъ телескоповъ только одно зеркало a (фиг. 584) и ставилъ его въ трубу bb немного наклонно, такъ что предметъ MN находился не на главной оптической оси, а внѣ ея; поэтому, изображеніе получалось по другую сторону оси въ mn, гдѣ оно разсматривалось окуляромъ p. Отъ наклоннаго положенія зеркала, изображенія были сжатыя; чтобы эту неправильность уменьшить, трубы



Фиг. 584.

дѣлали весьма длинныя. Одинъ изъ телескоповъ, приготовленныхъ Гершелемъ, имѣлъ 40 футовъ длины; зеркало было около 5 футовъ въ отверстіи. Наблюдатель помѣщался на платформѣ, придѣланной къ отверстію трубы, и, вмѣстѣ съ нею, могъ перемѣщаться, помощію особаго механизма. Телескопъ Гершеля весьма неудобенъ при употребленіи, какъ по своимъ размѣрамъ, требующимъ для помѣщенія цѣлаго зданія, такъ и по положенію наблюдателя, но зато онъ можетъ дать громадныя увеличиванія. Въ самомъ большомъ телескопѣ увеличиваніе было болѣе 6000; не смотря на то, изображенія были весьма блестящи: туманное пятно Оріона казалось въ трубѣ столь же яркимъ, какъ небесный сводъ въ полдень; свѣтъ Сиріуса усиливался до такой степени, что былъ нестерпимъ для глаза.

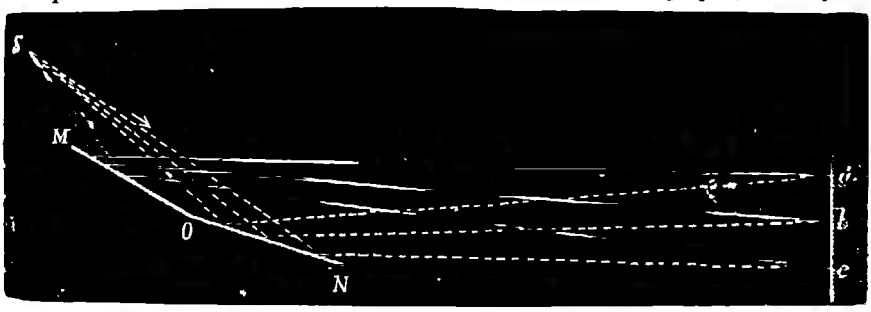
402. Новѣйшіе катоптрическіе телескопы. Катоптрическіе телескопы имѣютъ общіе недостатки, вслѣдствіе которыхъ ихъ было перестали употреблять. Такъ какъ много свѣта теряется при отраженіи и, въ нѣкоторыхъ телескопахъ, задерживается зеркаломъ, помѣщеннымъ у отверстія трубы, и частями, его прикрѣпляющими, то другому зеркалу необходимо давать большіе размѣры; отъ этого, оно дѣлается весьма тяжолымъ и можетъ, вслѣдствіе собственнаго вѣса, замѣтно измѣняться въ кривизнѣ, что влечетъ за собой неясность въ изображеніяхъ. Въ телескопѣ Гершеля, построенномъ Россомъ, зеркало вѣсило 240 пуд. Для уничтоженія аберраціи, зеркаламъ надо давать параболическую форму, что сопряжено съ большими затрудненіями. Зеркала со временемъ загрязняются и начинаютъ отражать мало свѣта; тогда требуется новое полированіе, а это немногимъ легче, чѣмъ приготовленіе новаго зеркала. Фуко почти устранилъ указанные недостатки. Въ его телескопахъ металлическія зеркала замѣняются менѣе тяжолыми стеклянными, которыхъ вогнутая сторона покрывается тонкимъ слоемъ серебра—металла, отражающаго большое количество свѣта и мало измѣняющагося отъ вліянія воздуха, а потому не скоро требующаго новой полировки. При одинаковыхъ увеличиваніяхъ и достоинствахъ, катоптрическіе телескопы вдвое короче и несравненно дешевле рефракторовъ; они устроены на манеръ телескопа Ньютона.

Діаметръ солнца въ 112 разъ, приблизительно, болѣе діаметра земного шара, а діаметръ луны—въ 4 раза менѣе діаметра земли; принимая разстояніе отъ центра земли до центра солнца въ 24000 земныхъ радіусовъ, а разстояніе до центра луны—въ 60 радіусовъ земли, опредѣлить: 1) длину конусовъ тѣней луны и земли; 2) радіусовъ тѣни и полутѣни луны на поверхности земли; 3) радіусовъ тѣни и полутѣни земного шара на лунѣ. — Предъ вогнутымъ сферическимъ зеркаломъ, котораго радіусъ равенъ 20 дюйм., поставленъ предметъ въ разстояніи 100 дюймовъ отъ зеркала: опредѣлить мѣсто изображенія предмета и найти отношеніе его величины къ величинѣ предмета.—Полагая показатель преломленія стекла равнымъ $^3/_2$, а воды —$^4/_3$, вычислить предѣльный уголъ полнаго внутренняго отраженія, при переходѣ луча изъ стекла въ воду. —Вывести формулы, подобныя формулѣ (6) (стр. 416), для всѣхъ родовъ оптическихъ чечевицъ.—Предъ двояковыпуклой оптической чечевицей, сдѣланной изъ льда, котораго показатель преломленія равенъ приблизительно $^4/_3$, на ея главной оптической оси находится свѣтящаяся точка въ разстояніи 48 сант.; радіусы шаровыхъ поверхностей, ограничивающихъ чечевицу, равны 12 сант. и 15 сантим. Найти фокусное разстояніе. — Вывести формулу x (стр. 423) непосредственно для каждаго рода оптическихъ чечевицъ. —Если лучи h (фиг. 555) сдѣлать па-

раллельными лучамъ S, то какое направленіе будутъ имѣть тогда лучи b.—Начертить ходъ лучей для сложнаго микроскопа (съ двумя стеклами).—То же сдѣлать въ случаѣ сложнаго окуляра.—Начертить ходъ лучей въ телескопѣ Гершеля.—Если зеркало MN (фиг. 466) повернуть на нѣкоторый уголъ около точки A такимъ образомъ, чтобы отраженный лучъ остался въ прежней плоскости съ падающимъ лучемъ, то на какой уголъ повернется отраженный лучъ? — Опредѣлить фокусное разстояніе Ef (фиг. 480), во всей точности, не дѣлая никакихъ пренебреженій.—Какъ велико будетъ изображеніе солнца въ фокусѣ собирательнаго стекла, котораго главное фокусное разстояніе равно 10^m.

Интерференція свѣта.

403. Опытъ Френеля. Берутъ два плоскія зеркала MO и NO (фиг. 585) и наклоняютъ ихъ одно къ другому подъ угломъ MON, весьма близкимъ къ 180°. Пусть изъ точки S исходятъ однородные лучи, наприм. красные; отразясь отъ каждаго изъ зеркалъ, они потомъ падаютъ на преграду abc. Лу-



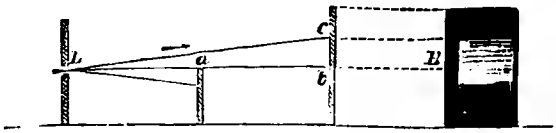
Фиг. 585.

чи, отраженные отъ зеркала MO, изображены на фигурѣ непрерывными линіями, а отраженные другимъ зеркаломъ NO—пунктиромъ. Нѣкоторая часть преграды будетъ освѣщена и тѣми, и другими лучами. Здѣсь мы естественно ждемъ бо́льшаго освѣщенія, нежели въ другихъ мѣстахъ стѣны, и въ самомъ дѣлѣ замѣчаемъ многія яркія красныя полосы, параллельныя ребру O двугроннаго угла MON, но зато раздѣленныя темными пространствами. Простые лучи другого цвѣта, наприм. желтые, представляютъ то же самое явленіе,—только разстоянія между цвѣтными полосами будутъ иныя: они тѣмъ менѣе, чѣмъ показатель преломленія лучей болѣе. Если точка S безцвѣтна, то каждый родъ цвѣтныхъ лучей даетъ рядъ полосъ, не совпадающихъ съ подобными полосами другого цвѣта; отъ этого, является система призматическихъ спектровъ. Если закроемъ одно изъ зеркалъ, то явленіе исчезаетъ. — Изъ этихъ опытовъ выходитъ, что два луча, простые, или составные, идущіе изъ одной и той же точки, по одному направленію, могутъ произвести и усиленіе, и ослабленіе свѣта. Это свойство свѣта называется *интерференціею*.

404. Диффракція. Свѣтъ, какъ извѣстно, распространяется въ однородной срединѣ по прямымъ линіямъ [326]; поэтому, встрѣчая на пути непрозрачное тѣло, онъ даетъ тѣнь, и если лучи выходятъ изъ одной только точки, то тѣнь рѣзко отдѣляется отъ освѣщенной части преграды. Для полученія границъ тѣни, надо провести изъ свѣтящейся точки прямыя линіи, касательныя къ непрозрачному предмету. Построенную такимъ образомъ тѣнь будемъ называть *геометрическою*, въ отличіе отъ дѣйствительной или *оптической*,

*

которая бываетъ менѣе первой и окружается цвѣтными или темными полосами, въ случаѣ однородныхъ лучей, и радужными, когда лучи безцвѣтные. Для доказательства, въ темную комнату (фиг. 586), чрезъ горизонтальную щель L впускаютъ свѣтовые лучи; одна часть ихъ задерживается пластинкой a, другая достигаетъ преграды bc, которая представлена отдѣльно въ планѣ B. Если лучи были простые, напр. красные, то между b и c замѣчаемъ красныя черты, параллельныя щели и перемежающіяся съ черными; эти черты, по мѣрѣ удаленія отъ предѣла ab, дѣлаются все тоньше и чаще и, наконецъ, исчезаютъ. Свѣтъ простирается и во внутрь геометрической тѣни, постепенно ослабляясь. Если бы, вмѣсто красныхъ, были другіе однородные лучи, то явленіе было бы то же самое, съ тою только разницею, что цвѣтныя полосы были бы тѣмъ ближе другъ къ другу, чѣмъ показатель преломленія болѣе. Отсюда выходитъ, что безцвѣтный лучъ долженъ дать радужныя полосы, которыхъ фіолетовые края обращены къ геометрической тѣни; чѣмъ дальше отъ предѣла, тѣмъ цвѣта менѣе отчетливы, и, наконецъ, совершенно дѣлаются незамѣтными.



Фиг. 586.

Свойство свѣта уклоняться отъ своего прямолинейнаго направленія, при прохожденіи его около предметовъ, называется *диффракціею* или *уклоненіемъ свѣта*.

Явленія диффракціи весьма разнообразны. Мы упомянемъ только нѣкоторыя.

Если, вмѣсто преграды a, поставить на пути лучей волосъ, или тонкую металлическую проволоку, параллельную отверстію, то получаются полосы не только по обѣ стороны геометрической тѣни, но и внутри ея самой. Когда волосъ будетъ замѣненъ экраномъ съ узкимъ отверстіемъ, то на другомъ экранѣ также получаются полосы внутри и внѣ тѣней, разстояніе между которыми будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ отверстіе ўже. Но особенно замѣчательно явленіе диффракціи въ такъ называемыхъ *оптическихъ рѣшеткахъ*, которыя состоятъ изъ множества узкихъ отверстій, чрезвычайно близкихъ и параллельныхъ другъ другу. Если чрезъ такую рѣшетку, состоящую изъ ряда параллельныхъ прямыхъ линій, въ равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга,—смотрѣть на щель въ ставнѣ, параллельную линіямъ рѣшетки и въ которую проникаютъ снаружи лучи солнца, то во первыхъ увидимъ самую щель K (фиг. 587), по бокамъ ея

Фиг. 587.

два темныя пространства N и N, за ними два спектра s и s; фіолетовые края спектровъ обращены другъ къ другу; цвѣта столь чисты, что весьма ясно различаются фраунгоферовы линіи. Потомъ, идутъ темныя пространства n и n, менѣе широкія; затѣмъ, слѣдуютъ новые спектры, которые, по мѣрѣ удаленія отъ K, сближаются, начинаютъ захватывать другъ друга, блѣднѣютъ и, на-

конецъ, совершенно исчезаютъ. Прибавимъ, что нѣтъ надобности, чтобы оптическая рѣшетка состояла изъ ряда прорѣзовъ въ непрозрачной пластинкѣ; совершенно достаточно нарѣзать на стеклянной пластинкѣ параллельныя линіи.

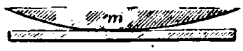
405. Цвѣта тонкихъ пластинокъ. Ньютоновы кольца. Безцвѣтныя средины, какъ извѣстно [368], пропускаютъ чрезъ себя и отражаютъ равныя части всякихъ цвѣтныхъ лучей. Но когда слой средины очень тонокъ, наприм. въ нѣсколько тысячныхъ долей миллиметра, или менѣе, то получается особое явленіе. Разсмотримъ сначала отраженіе, и при томъ, для простоты, предположимъ, что падающіе лучи однородны, напр. красные. Въ этомъ случаѣ, пластинка кажется красною, или черною, въ зависимости отъ своей толщины. Если толщина близка къ нулю, то пластинка имѣетъ черный цвѣтъ, иначе сказать, не отражаетъ красныхъ лучей. Если толщина мало по малу возрастаетъ, то пластинка постепенно дѣлается красною, но, при большемъ еще утолщеніи, яркость ея уменьшается, и она опять становится черною, потомъ, если толщина пластинки продолжаетъ увеличиваться, она снова дѣлается красною, опять черною и т. д. Если чрезъ d назовемъ толщину пластинки, когда первый появившійся красный цвѣтъ достигъ наибольшей яркости, то тотъ же цвѣтъ является, когда толщина будетъ $3d$, $5d$, $7d$,.... вообще d, повторенное нечетное число разъ; пластинка имѣетъ черный цвѣтъ, если толщина ея равна $2d$, $4d$, $6d$,... вообще количеству d, повторенному четное число разъ.—Подобное явленіе замѣчается при всякомъ цвѣтномъ лучѣ, съ тою только разницею, что величина d будетъ иная: чѣмъ болѣе показатель преломленія луча, тѣмъ d меньше, такъ что для краснаго луча d имѣетъ наибольшую величину, а для фіолетоваго — наименьшую. Отсюда не трудно понять, что въ безцвѣтныхъ лучахъ тонкая прозрачная пластинка должна окрашиваться въ тотъ, или другой цвѣтъ, въ зависимости отъ своей толщины, и не можетъ имѣть чернаго цвѣта, потому что при всякой толщинѣ отражаетъ лучи разной преломляемости, хотя и въ различной степени, и исчезаніе возможно только для одного, или нѣсколькихъ цвѣтныхъ лучей, а не для всѣхъ.

Окрашиваніе тонкихъ пластинокъ съ особенною ясностью наблюдается въ мыльныхъ пузыряхъ, яркіе цвѣта которыхъ происходятъ только отъ того, что они имѣютъ весьма тонкія оболочки. По мѣрѣ того, какъ вода, вслѣдствіе тяжести, стекаетъ съ пузыря, стѣнки его дѣлаются тоньше, а вмѣстѣ съ тѣмъ измѣняются цвѣта; наконецъ, онъ дѣлается въ верхней своей части чернымъ и лопается. То же явленіе представляетъ полый стеклянный шаръ, выдуваемый на концѣ стеклянной трубки. Слюда, въ которой легко отдѣляются на поверхности тонкіе листки, окрашивается въ радужные цвѣта. Тѣ же цвѣта замѣчаются на отваренной стали отъ покрывающей ее окиси желѣза; въ металлахъ, на которые осажденъ тонкій слой другого металла помощію гальванопластики; на поверхности старыхъ стеколъ, измѣнившихся отъ дѣйствія влажности; въ крыльяхъ насѣкомыхъ; въ стоячихъ водахъ, на поверхности которыхъ не рѣдко плаваютъ жирныя органическія вещества въ видѣ тонкаго слоя; и пр.

Явленія, подобныя предыдущимъ, замѣчаются при прохожденіи свѣта чрезъ тонкія пластинки. Разсмотримъ лучи однородные, напримѣръ красные. Когда толщина пластинки близка къ нулю, то лучъ проходитъ чрезъ средину почти безъ поглощенія. По мѣрѣ возрастанія толщины, пластинка становится непрозрачною, и, наконецъ, вовсе не пропускаетъ лучей, но, при дальнѣйшемъ

увеличиваніи толщины, снова дѣлается прозрачною, потомъ опять перестаетъ пропускать лучи и т. д. Пластинка непрозрачна, когда толщина ея равна d, $3d$, $5d$,... и прозрачна при толщинѣ $2d$, $4d$, $6d$,..., т. е. совершенно наоборотъ, чѣмъ въ случаѣ отраженія; иначе сказать: если пластинка, при нѣкоторой толщинѣ, прозрачна для красныхъ лучей, то она лучей того же цвѣта не отражаетъ, а пластинка, не пропускающая красныхъ лучей, наилучше отражаетъ ихъ.—То же самое имѣетъ мѣсто для лучей всякой преломляемости. Отсюда ясно, что безцвѣтные лучи, проходя чрезъ пластинку, окрашиваются въ тотъ, или другой цвѣтъ, въ зависимости отъ ея толщины, и что цвѣтъ этотъ—дополнительный тому, который имѣетъ та же пластинка въ отраженныхъ лучахъ.

Цвѣтами тонкихъ пластинокъ объясняется явленіе, извѣстное подъ названіемъ ньютоновыхъ колецъ, названное такъ по имени Ньютона, занимавшагося изслѣдованіемъ этого явленія. Сферическое стекло m (фиг. 588), описанное большимъ радіусомъ (50 фут.), кладутъ выпуклостью на полированную стеклянную пластинку, положенную на что нибудь черное. Между шаровою поверхностью и пластинкою остается тонкій слой воздуха, котораго толщина возрастаетъ отъ точки прикосновенія къ краямъ стекла m. Если направить на стекло m однородные лучи, напримѣръ красные, и смотрѣть со стороны падающихъ лучей, чтобы получить впечатлѣніе отраженныхъ лучей, то въ точкѣ прикосновенія a (фиг. 589) обоихъ стеколъ замѣчается черное пятно, потому что толщина слоя воздуха въ этомъ мѣстѣ близка къ нулю; около чернаго пятна является рядъ красныхъ колецъ, перемежающихся съ черными, соотвѣтственно различной толщинѣ воздушнаго слоя.—То же самое даютъ фіолетовые и всякіе другіе однородные лучи, но кольца, конечно, имѣютъ иной цвѣтъ и другую величину: діаметры ихъ тѣмъ менѣе, чѣмъ показатели преломленія болѣе.—Изъ предыдущаго выходитъ, что въ безцвѣтныхъ лучахъ должны получиться кольца радужныя. — Лучи свѣта, проходя чрезъ оба стекла m (фиг. 588), тоже даютъ кольца, хотя менѣе явственныя; они окрашены въ радужные цвѣта въ случаѣ безцвѣтныхъ лучей и попеременно цвѣтныя и черныя, когда свѣтъ однороденъ, но имѣютъ обратное положеніе, чѣмъ въ предыдущемъ опытѣ, то есть черныя кольца лежатъ на мѣстѣ цвѣтныхъ, а цвѣтныя—на мѣстѣ черныхъ. Всякое радужное кольцо, видимое въ отраженныхъ лучахъ, должно имѣть дополнительный цвѣтъ относительно кольца того же порядка въ лучахъ, прошедшихъ чрезъ оба стекла m. Если между стеклами впустить какой бы то ни было прозрачной жидкости, явленіе будетъ то же самое, только діаметры колецъ уменьшатся и тѣмъ въ большей степени, чѣмъ показатель преломленія жидкости болѣе. Ньютонъ доказалъ, что каждому кольцу соотвѣтствуетъ извѣстное разстояніе между плоскимъ и сферическимъ стеклами; если напримѣръ нѣкоторое кольцо появилось въ томъ мѣстѣ, гдѣ разстояніе между стеклами было $0,^{mm}001$, то, взявъ другое сферическое стекло большей кривизны, найдемъ, что то же кольцо будетъ меньшаго діаметра, но окажется опять въ томъ же самомъ мѣстѣ, гдѣ разстояніе между стеклами равно $0,^{mm}001$.

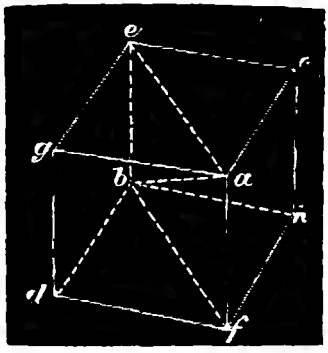


Фиг. 588.

Фиг. 589.

Двойное лучепреломленіе.

406. Двойное лучепреломленіе. Когда лучъ переходитъ изъ одной средины въ другую, то уклоняется отъ своего направленія, слѣдуя извѣстнымъ законамъ преломленія [346]. Такъ по крайней мѣрѣ бываетъ, когда средина некристаллическая, каковы всѣ жидкости, стекло, или въ случаѣ кристалловъ правильной системы. Въ кристаллахъ прочихъ системъ, лучъ раздѣляется на два, изъ которыхъ одинъ или оба не слѣдуютъ законамъ преломленія. Лучъ, повинующійся этимъ законамъ, называется *обыкновеннымъ*, преломляющійся иначе—*необыкновеннымъ*, а самое явленіе — *двойнымъ лучепреломленіемъ*; оно яснѣе всего наблюдается въ *исландскомъ шпатѣ*. Этотъ минералъ встрѣчается въ природѣ окристаллизованнымъ въ видѣ ромбоедровъ (фиг. 590). Грани, его образующія, числомъ 6, суть ромбы: *afdg*, *afhc* и проч., у которыхъ тупые углы равны 101°55′, а острые—78°5′. Если чрезъ этотъ кристаллъ разсматривать одну свѣтящуюся точку, то увидимъ двѣ точки; положивъ его одной изъ граней на бумагу, на которой написана буква, будемъ видѣть двѣ буквы.



Фиг. 590.

407. Въ каждомъ кристаллѣ есть одно или два направленія, по которымъ лучъ не раздваивается; такое направленіе называется *оптическою осью* кристалла. Не должно забывать, что оптическая ось не есть опредѣленная линія въ кристаллѣ, а направленіе, такъ что всѣ лучи, параллельные оптической оси, проходя чрезъ кристаллъ, не испытываютъ двойного преломленія. Одну оптическую ось имѣютъ двухъ одноосные и трехъ одноосные кристаллы, напр., исландскій шпатъ, кварцъ, турмалинъ, сафиръ, рубинъ, цирконъ, ледъ и проч.; двѣ оси — кристаллы остальныхъ системъ, каковы: сахаръ, бразильскій топазъ, арагонитъ, анхидридъ, азотносеребряная соль, полевой шпатъ, лимонная кислота и проч. Въ первыхъ—одинъ только лучъ необыкновенный, во вторыхъ — оба луча не слѣдуютъ законамъ преломленія.

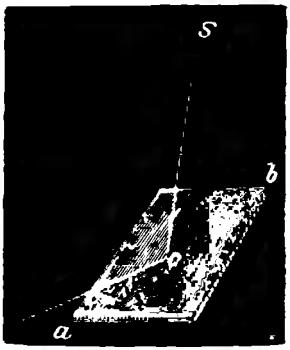
Въ нѣкоторыхъ кристаллахъ съ одной оптическою осью, обыкновенный лучъ преломляется сильнѣе необыкновеннаго, въ другихъ наоборотъ. Первые называются *отрицательными*; сюда принадлежатъ: исландскій шпатъ, турмалинъ, сафиръ, рубинъ, берилъ, идокразъ и проч.; вторые — *положительными*; таковы: кварцъ, цирконъ, діоптазъ, ледъ и проч. Плоскость, перпендикулярная къ естественной или искусственной грани кристалла объ одной оптической оси, и проведенная чрезъ эту ось, называется *главнымъ сѣченіемъ*.

408. Кристаллы объ одной оптической оси. Если смотрѣть чрезъ кристаллъ объ одной оптической оси, напр. чрезъ исландскій шпатъ, на свѣтящуюся точку, то видимъ два изображенія; вращая кристаллъ около линіи, соединяющей глазъ съ свѣтящейся точкой, замѣчаемъ, что необыкновенное изображеніе вращается около обыкновеннаго, которое остается въ покоѣ. При этомъ не трудно убѣдиться, что необыкновенный лучъ всегда находится въ

плоскости главнаго сѣченія кристалла, не совпадая вообще съ плоскостью паденія луча. Если отполировать изъ исландскаго шпата пластинку, которой грани были бы перпендикулярны къ оптической оси, то лучъ, упавшій перпендикулярно, не раздваивается. Когда же онъ наклоненъ къ грани, то хотя и раздѣляется на два, но обыкновенный лучъ остается въ одной плоскости съ перпендикуляромъ къ грани и лучами обыкновеннымъ и падающимъ и, слѣдовательно, повинуется первому закону преломленія свѣта [346]. Такимъ образомъ, въ главномъ сѣченіи кристалла необыкновенный лучъ слѣдуетъ первому закону преломленія свѣта. Если будемъ вращать пластинку около линіи къ ней перпендикулярной, то оба изображенія останутся въ покоѣ. Приготовимъ трехгранную призму, которой ребра были бы параллельны оптической оси; тогда лучъ, падающій на грань перпендикулярно къ ребрамъ, разлагается на два; оба луча слѣдуютъ законамъ преломленія, но имѣютъ разныхъ показателей преломленія. Значитъ, въ плоскости, перпендикулярной къ оптической оси, необыкновенный лучъ повинуется обоимъ законамъ преломленія свѣта.

Поляризація свѣта.

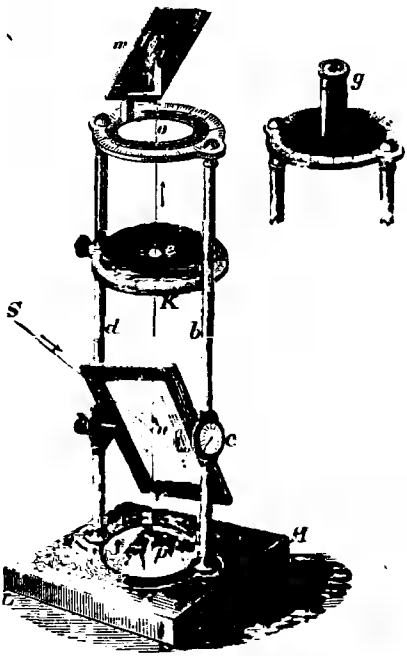
409. Общія понятія. При изслѣдованіи оптическихъ явленій, лучъ свѣта считаютъ математической линіей; на практикѣ не приходится дѣлать испытаній съ однимъ такимъ лучемъ, а всегда съ бо́льшимъ или меньшимъ ихъ количествомъ, какъ бы мало ни было отверстіе, чрезъ которое свѣтъ проникаетъ въ темную комнату. Такимъ образомъ, лучу можно приписывать нѣкоторую толщину, а тогда будутъ имѣть смыслъ изысканія, одинаковы ли свойства луча со всѣхъ сторонъ. Опытъ показываетъ, что естественный лучъ, то есть такой, какой испускаютъ источники свѣта: солнце, лампа и проч., имѣетъ тожественныя свойства со всѣхъ сторонъ. Если въ темную комнату пропустимъ на зеркало ab лучъ So (фиг. 591), то онъ отразится, слѣдуя извѣстнымъ законамъ. Вращая зеркало около луча, такъ чтобы уголъ ихъ взаимнаго наклоненія не измѣнялся, мы заставимъ лучъ падать на зеркало послѣдовательно каждою стороною; законы отраженія при этомъ остаются одни и тѣ же.—Равнымъ образомъ, встрѣчая прозрачную средину, естественный лучъ всегда вступаетъ въ нее и преломляется, каково бы ни было относительное положеніе луча и средины. Въ кристаллахъ съ двойнымъ лучепреломленіемъ, лучъ разлагается на два и проч. — Есть возможность такъ измѣнить естественный лучъ, что съ разныхъ сторонъ онъ будетъ имѣть разныя свойства. Такой лучъ, при нѣкоторыхъ положеніяхъ зеркала, вовсе не отражается, какъ будто бы падалъ на шероховатую черную поверхность, между тѣмъ какъ, при всякомъ другомъ относительномъ положеніи, отражается въ большемъ или меньшемъ количествѣ;—иногда теряетъ способность пройти чрезъ прозрачную средину, а вступая въ двояко-лучепреломляющій кристаллъ, даетъ либо одинъ обыкновенный лучъ, либо необыкновенный, или хотя оба, но почти всегда не-



Фиг. 591.

одинаковой силы, и пр. Лучъ, имѣющій неодинаковыя свойства съ разныхъ сторонъ, называется *поляризованнымъ*, а самое явленіе — *поляризаціею свѣта*. Поляризовать лучи можно чрезъ отраженіе, также посредствомъ простого и двойного лучепреломленій и проч.

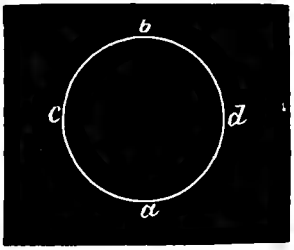
410. Поляризація чрезъ отраженіе. Опыты надъ свѣтомъ, поляризованнымъ чрезъ отраженіе, весьма удобно производить помощію аппарата Норемберга. Главнѣйшія части этого прибора — два зеркала n и m (фиг. 592), поддерживаемыя столбиками d и b. Первое n есть обыкновенное зеркальное стекло, не покрытое амальгамой, и можетъ вращаться около горизонтальной оси; помощію стрѣлки c, прикрѣпленной къ этой оси, опредѣляютъ наклоненіе зеркала къ отвѣсной линіи. Второе зеркало m дѣлается изъ чернаго стекла и прикрѣплено къ кольцу o, свободно вращающемуся въ другомъ кольцѣ съ дѣленіями, которое неподвижно соединено съ столбиками d и b. На подставкѣ прибора утверждено третье плоское зеркало p, котораго задняя сторона наведена ртутью. Наконецъ, кольцо K съ пластинкой e, въ которой сдѣлано отверстіе, можно прикрѣпить, помощію винта, къ одному изъ столбиковъ d и b на всякой высотѣ. Пусть лучъ Sn падаетъ на стекло n; онъ частію пройдетъ насквозь, частію отразится внизъ. Изъ множества лучей, которые падаютъ отъ облаковъ и небеснаго свода, найдется такой, который, послѣ отраженія, пойдетъ отвѣсно по np. Встрѣтивъ горизонтальное зеркало p, онъ отражается вверхъ, по вертикальной линіи pr и достигаетъ зеркала m. Расположимъ зеркало n подъ угломъ 35°25′ къ отвѣсной линіи, а зеркало m — подъ угломъ 33°57′ къ той же линіи, и такимъ образомъ, чтобы плоскости паденія луча на каждое изъ зеркалъ совпадали. Тогда въ зеркалѣ m увидимъ изображеніе отверстія e. Поворачивая кольцо o вмѣстѣ съ зеркаломъ m около вертикальной оси, замѣтимъ, что изображеніе e дѣлается темнѣе и, наконецъ, становится вовсе невидимымъ, когда кольцо o повернется на 90°, и когда, слѣдовательно, плоскости паденія луча на оба зеркала будутъ между собою перпендикулярны. Продолжая двигать кольцо o по тому же направленію, опять замѣтимъ появленіе изображенія, которое получаетъ наибольшую яркость, когда кольцо повернется относительно первоначальнаго положенія на 180° и когда плоскости паденія луча снова совпадутъ. Если еще вращать кольцо o, то явленіе повторяется въ томъ же порядкѣ: изображеніе постепенно темнѣетъ, при 270° пропадаетъ, потомъ опять появляется и при 360° получаетъ наибольшую силу. Описанныя явленія наблюдаются только въ томъ случаѣ, когда зеркала



Фиг. 592

составляютъ съ отвѣсной линіей упомянутые выше углы; при всякомъ другомъ наклоненіи, хотя изображеніе дѣлается слабѣе, но никогда совершенно не исчезаетъ. Вмѣсто дневного свѣта, можно пользоваться лампой, поставивъ ее на такой высотѣ, чтобы лучи, отразясь отъ зеркала n, подъ угломъ 35°25', имѣли потомъ отвѣсное направленіе; но тогда ни при какомъ положеніи зеркалъ свѣтъ совершенно не исчезаетъ, какъ это вообще имѣетъ мѣсто, когда источникъ свѣта довольно силенъ.

Изъ этихъ опытовъ выходитъ, что лучъ, отраженный отъ зеркала подъ опредѣленнымъ угломъ, теряетъ способность отразиться еще разъ отъ другого зеркала, при опредѣленномъ углѣ паденія, и если плоскости паденія взаимно перпендикулярны. Этотъ законъ можно выразить иначе. Будемъ представлять себѣ естественный лучъ цилиндрическимъ, такъ что сѣченіе его есть кругъ $abcd$ (фиг. 593), и пусть онъ упалъ на зеркало стороною a. Послѣ отраженія, сторона a и противоположная ей b сохраняютъ свои свойства, между тѣмъ какъ стороны c и d, удаленныя на 90° отъ первыхъ, получаютъ иныя свойства. Когда лучъ падаетъ на второе зеркало точками a или b, то отражается какъ естественный; напротивъ, падая сторонами c и d, совсѣмъ не отражается, и, наконецъ, только отчасти — для точекъ среднихъ. Слѣдовательно, лучъ чрезъ отраженіе поляризуется.



Фиг. 593.

Если уголъ, составленный лучемъ съ поверхностью зеркальнаго стекла, болѣе или менѣе 35°25', то лучъ поляризуется только отчасти. Уголъ 35°25', подъ которымъ падающій лучъ поляризуется до наибольшей степени, называется *угломъ поляризаціи*, а плоскость, въ которой поляризованный лучъ сохраняетъ способность отражаться отъ другого зеркала и вообще сохраняетъ свои прежнія свойства,—*плоскостью* поляризаціи. Итакъ, *естественный лучъ, при отраженіи отъ плоскаго зеркала подъ угломъ поляризаціи, поляризуется въ плоскости паденія луча.*

411. Посредствомъ прибора Норемберга и другихъ пріемовъ найдены были слѣдующіе законы.

1) Поляризованный лучъ, падая на зеркало подъ угломъ поляризаціи, отражается какъ естественный, если плоскость поляризаціи совпадаетъ съ плоскостью паденія; когда же эти плоскости взаимно перпендикулярны, то лучъ не отражается, какъ будто бы падалъ не на зеркало, а на черную матовую поверхность.

Лучъ никогда не поляризуется вполнѣ и притомъ не одинаково отъ разныхъ тѣлъ. Черный полированный мраморъ почти совершенно поляризуетъ лучи, по крайней мѣрѣ отъ слабыхъ источниковъ свѣта, между тѣмъ какъ алмазъ, даже обыкновенное стекло—только отчасти; металлы имѣютъ наименьшую способность поляризовать лучи; по этой причинѣ, обыкновенныя зеркала, состоящія изъ стеколъ, наведенныхъ ртутью, или серебромъ, не употребляются для поляризаціи.

2) Уголъ поляризаціи для разныхъ тѣлъ различенъ: для воды 37°15', для обыкновеннаго стекла 35°25', для чернаго стекла 33°57', для алмаза 21°58'. Онъ имѣетъ связь съ показателемъ преломленія, заключающуюся въ томъ, что

котангенсъ угла поляризаціи равенъ показателю преломленія. Назвавъ уголъ поляризаціи чрезъ p, а показатель преломленія чрезъ m, будемъ имѣть:

$$\mathrm{Cotg}\,p = m.$$

По этому равенству, можно вычислить показатель преломленія веществъ, имѣющихся въ небольшихъ кускахъ, или непрозрачныхъ тѣлъ, напримѣръ металловъ. Такъ, для ртути уголъ поляризаціи 13°30′, откуда ея показатель преломленія выходитъ 4,16.

Свѣтъ разсѣянный также содержитъ въ большей или меньшей степени поляризованные лучи.

412. Поляризація чрезъ преломленіе. Естественный лучъ, падая на средину подъ угломъ поляризаціи, отражается только частію; другая часть вступаетъ въ средину и поляризуется въ плоскости, перпендикулярной къ плоскости паденія луча. Одна стеклянная пластинка весьма слабо поляризуетъ лучи, но цѣлый рядъ ихъ можетъ поляризовать болѣе совершеннымъ образомъ.

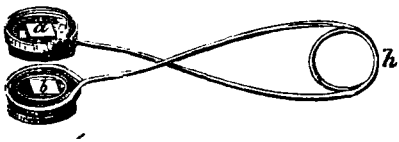
413. Поляризація чрезъ двойное лучепреломленіе. Пропустимъ естественный лучъ чрезъ кристаллъ исландскаго шпата и полученные отъ того два луча: обыкновенный и необыкновенный, примемъ на черное стекло подъ угломъ поляризаціи. Тогда замѣтимъ слѣдующее: если главное сѣченіе кристалла совпадаетъ съ плоскостью паденія луча на зеркало, то обыкновенный лучъ отражается, а необыкновенный нѣтъ; когда же главное сѣченіе перпендикулярно къ плоскости паденія, то отражается только необыкновенный лучъ. Въ промежуточныхъ положеніяхъ, оба луча отражаются въ большей или меньшей степени. Отсюда выходитъ, что кристаллы съ двойнымъ лучепреломленіемъ раздѣляютъ естественный лучъ на два поляризованные луча: обыкновенный лучъ — въ плоскости главнаго сѣченія, а необыкновенный — въ плоскости перпендикулярной.

Замѣняя зеркало m (фиг. 592) въ приборѣ Норемберга трубкой g, содержащей кристаллъ исландскаго шпата, увидимъ вообще два неодинаковой силы изображенія отверстія e. Когда главное сѣченіе кристалла совпадетъ съ плоскостью паденія луча на зеркало n, то видимъ только одно изображеніе обыкновенное; при поворачиваніи трубки g, появляется необыкновенное, котораго яркость увеличивается, а обыкновеннаго—ослабѣваетъ. Когда главное сѣченіе перпендикулярно къ плоскости паденія, то замѣчаемъ только одно необыкновенное изображеніе. Затѣмъ, оно ослабѣваетъ, появляется обыкновенное изображеніе, которое, при совпаденіи главнаго сѣченія съ плоскостью паденія луча, достигаетъ наибольшей силы, а необыкновенное исчезаетъ. При дальнѣйшемъ вращеніи кристалла, явленіе повторяется въ томъ же порядкѣ. Такимъ образомъ, поляризованный лучъ, подобно естественному, проходя чрезъ исландскій шпатъ, разлагается вообще на два луча, поляризованные: одинъ— въ плоскости главнаго сѣченія, другой — перпендикулярно къ первому. Въ частномъ случаѣ, когда плоскость паденія поляризованнаго луча совпадаетъ съ главнымъ сѣченіемъ, лучъ, не разлагаясь на два, выходитъ въ видѣ обыкновеннаго луча; когда обѣ плоскости взаимно перпендикулярны, то лучъ также не раздваивается и является какъ необыкновенный.

Если мы наложимъ одинъ кристаллъ исландскаго шпата на другой, то естественный лучъ, проходя чрезъ первый кристаллъ, разложится на два: обыкновенный и необыкновенный. Вступая во второй кристаллъ, каждый изъ

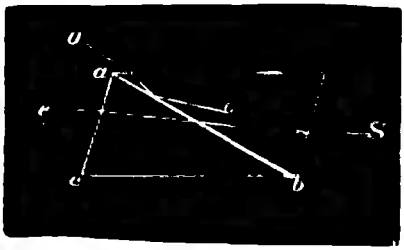
этихъ лучей также разложится на два, вообще неравной силы. Если вращать верхній кристаллъ на нижнемъ, то относительная яркость изображеній измѣняется: два изъ нихъ становятся сильнѣе, другіе два ослабѣваютъ. Когда главныя сѣченія кристалловъ параллельны или перпендикулярны между собою, то остаются только два изображенія.

414. Турмалиновые щипцы. Минералъ *турмалинъ* зеленаго цвѣта, кристаллизуется въ видѣ шестигранной призмы, обладаетъ двойнымъ лучепреломленіемъ и имѣетъ только одну оптическую ось. Замѣчательно, что въ тонкомъ слоѣ онъ раздваиваетъ лучъ свѣта, но при достаточной толщинѣ пропускаетъ только необыкновенный лучъ, а обыкновенный совершенно задерживаетъ. Поэтому, естественный лучъ, проходя чрезъ кристаллъ, поляризуется въ плоскости перпендикулярной къ главному сѣченію; лучъ поляризованный не пропускается турмалиномъ, когда плоскость поляризаціи луча совпадаетъ съ плоскостью главнаго сѣченія. При всякомъ другомъ положеніи, лучъ проходитъ не весь,— а въ наибольшемъ количествѣ, когда обѣ плоскости взаимно перпендикулярны. Такъ напр., лучъ, поляризованный чрезъ отраженіе, задерживается до наибольшей степени, когда плоскость его паденія на зеркало и главное сѣченіе кристалла совпадаютъ, и проходитъ почти безпрепятственно, когда эти плоскости взаимно перпендикулярны. Если двѣ турмалиновыя пластинки, отполированныя параллельно оси кристалла, положить одну на другую, то онѣ пропускаютъ естественный лучъ, когда оси между собою параллельны, и дѣлаются совершенно непрозрачными, если оси взаимно перпендикулярны. На этомъ основано устройство *турмалиновыхъ щипцовъ*, состоящихъ изъ двухъ турмалиновыхъ пластинокъ *a* и *b* (фиг. 594), укрѣпленныхъ на концахъ проволоки *h*; ихъ можно ставить въ разныя относительныя положенія. Приборъ этотъ имѣетъ одинъ весьма важный недостатокъ: турмалинъ недостаточно прозраченъ для цвѣтныхъ лучей, кромѣ зеленыхъ, а потому при слабыхъ источникахъ свѣта, особенно когда они окрашены, пропускаетъ весьма мало лучей.



Фиг. 594.

415. Призма Николя. Исландскій шпатъ изъ одного естественнаго луча даетъ два, поляризованные въ двухъ взаимно перпендикулярныхъ плоскостяхъ. Помощію призмы Николя, можно получить только одинъ поляризованный лучъ. Для приготовленія этого прибора, берутъ кристаллъ исландскаго шпата (фиг. 595), распиливаютъ его по нѣкоторому опредѣленному направленію *ab* и потомъ снова склеиваютъ канадскимъ бальзамомъ, который имѣетъ меньшаго показателя преломленія, нежели исландскій шпатъ въ отношеніи обыкновеннаго луча, и большаго, чѣмъ тотъ же кристаллъ — для необыкновеннаго. Естественный лучъ *S* разлагается въ кристаллѣ на два луча: обыкновенный *o* и необыкновенный *e*. Плоскости сѣченія *ab* даютъ такое направленіе, что обыкновенный лучъ *o*, вслѣдствіе полнаго внутренняго отраженія,



Фиг. 595.

отражается отъ слоя бальзама и не попадаетъ въ другую часть кристалла, а необыкновенный *e* достигаетъ грани *ac* и выходитъ наружу. Такимъ образомъ, выходящій лучъ будетъ поляризованъ въ плоскости. перпендикулярной къ главному сѣченію кристалла.

416. Приложенія. Изучая лучи разныхъ источниковъ свѣта, помощію турмалиновой пластинки, призмы Николя и другихъ поляризаціонныхъ приборовъ, нашли, что лучи, испускаемые солнцемъ, звѣздами и раскаленными газами, вовсе неполяризованы. Раскаленныя твердыя и жидкія тѣла даютъ, по наклонному направленію къ лучеиспускательной поверхности, лучи поляризованные, хотя въ весьма слабой степени. Если смотрѣть чрезъ николеву призму, или турмалиновую пластинку, на небесный сводъ днемъ, то замѣтимъ, что свѣтъ, имъ испускаемый, поляризованъ въ плоскости, проходящей чрезъ солнце, наблюдаемую точку неба и глазъ; слѣдовательно, небесный сводъ есть явленіе, производимое отраженіемъ свѣта. — Лучи свѣта, отражающіеся отъ поверхности воды, мѣшаютъ намъ видѣть происходящее на днѣ. Но если мы будемъ смотрѣть чрезъ турмалиновую пластинку, или призму Николя, подъ угломъ поляризаціи воды, и притомъ такъ, чтобы главное сѣченіе совпадало съ плоскостью паденія лучей на поверхность воды, то лучи эти задержатся, и мы будемъ видѣть дно.

417. Вращеніе плоскости поляризаціи. Пусть на зеркало *n* (фиг. 592) въ приборѣ Норемберга падаетъ однородный лучъ *Sn* подъ угломъ поляризаціи; онъ чрезъ отраженіе поляризуется и не будетъ отражаться отъ зеркала *m*, когда плоскости паденія взаимно перпендикулярны. Но, положивъ на отверстіе *e* пластинку кварца, отполированную перпендикулярно къ оптической оси, мы замѣтимъ, что исчезаніе луча происходитъ не въ томъ случаѣ, когда взаимное наклоненіе плоскостей паденія будетъ 90°, но при большемъ или меньшемъ углѣ. Отсюда выходитъ, что кварцъ поворачиваетъ плоскость поляризаціи: одни кристаллы его—въ одну сторону, другіе — въ противоположную; поэтому, различаютъ *правые* кристаллы кварца и *лѣвые*. Это явленіе называется *вращеніемъ плоскости поляризаціи*.

Подобное свойство имѣютъ многія другія вещества, кромѣ кварца. Одни изъ нихъ поворачиваютъ плоскость поляризаціи направо, другія налѣво. Къ первымъ относятся: растворъ тростниковаго сахара въ водѣ, лимонная эссенція, декстринъ и проч. Ко вторымъ: виноградный сахаръ, терпентинъ, аравійская камедь и проч. Наибольшая способность поворачивать плоскость поляризаціи принадлежитъ бензолу, потомъ киновари, кварцу и проч.

Уголъ, на который поворачивается плоскость поляризаціи:

1) для разныхъ простыхъ лучей различенъ, и тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе показатель преломленія луча;

2) для одного и того же простого луча и при одномъ и томъ же веществѣ, пропорціоналенъ толщинѣ слоя.

Основываясь на первомъ законѣ, можно объяснить слѣдующее замѣчательное явленіе. Если на зеркало *n* падаетъ безцвѣтный лучъ свѣта *Sn*, состоящій изъ всевозможныхъ цвѣтныхъ, то всѣ они будутъ поляризованы въ одной и той же плоскости. Пластинка изъ кварца, поставленная на пути отраженнаго безцвѣтнаго луча, отклоняетъ плоскости поляризаціи цвѣтныхъ лучей неодинаково, въ зависимости отъ ихъ показателей преломленія. Поэтому, цвѣтные лучи, при всякомъ положеніи зеркала *m*, будутъ отражаться въ раз-

ныхъ количествахъ, а нѣкоторыхъ лучей можетъ даже вовсе недоставать. По этой причинѣ, при вращеніи зеркала *m* около вертикальной линіи, изображеніе въ этомъ зеркалѣ отверстія *e* является окрашеннымъ и безпрестанно измѣняющимся въ своемъ цвѣтѣ. То же найдемъ, когда направимъ лучъ въ николеву призму *g*. Если послѣднюю замѣнить кристалломъ исландскаго шпата, то одна часть каждаго цвѣтнаго луча поляризуется въ плоскости главнаго сѣченія кристалла, а другая въ плоскости перпендикулярной. Поэтому, замѣчаемъ два изображенія, окрашенныя въ дополнительные цвѣта; въ самомъ дѣлѣ, въ томъ мѣстѣ, гдѣ эти изображенія покрываютъ другъ друга, видимъ бѣлое пространство.

Наконецъ, замѣтимъ, что дѣйствіемъ сильныхъ электромагнитовъ можно сообщить каждому прозрачному тѣлу способность поворачивать плоскость поляризаціи.

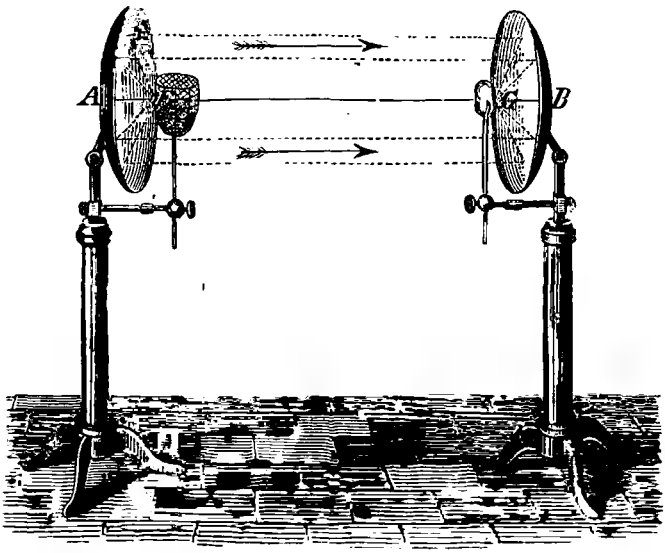
Явленіе вращенія плоскости поляризаціи имѣетъ важное приложеніе при опредѣленіи количества сахара въ растворѣ, ибо изъ опытовъ найдено, что отклоненіе плоскости поляризаціи пропорціонально количеству этого вещества; вмѣстѣ съ тѣмъ, можно узнать родъ сахара, потому что тростниковый сахаръ отклоняетъ плоскость поляризаціи направо, а виноградный—налѣво.

ЛУЧИСТЫЙ ТЕПЛОРОДЪ.

418. Лучистый теплородъ имѣетъ много сходнаго съ свѣтомъ; онъ также отражается, преломляется, представляетъ явленія, напоминающія хроматизмъ и проч.

Отраженіе. Лучъ теплорода, упавъ на полированную поверхность, претерпѣваетъ отраженіе, такъ что уголъ паденія равенъ углу отраженія; лучи падающій и отраженный лежатъ въ одной плоскости съ перпендикуляромъ къ зеркалу. Не найденъ способъ, которымъ бы можно было доказать эти законы съ достаточною точностію, но они оправдываются вытекающими изъ нихъ слѣдствіями. Такимъ образомъ, параллельные теплородные лучи, встрѣчая вогнутое зеркало, собираются въ его главномъ фокусѣ [339]. Для доказательства, Пикте ставилъ два большія вогнутыя зеркала *A* и *B* (фиг. 596) въ разстояніи 6 футовъ одно отъ другого, такъ чтобы ихъ главныя оптическія оси совпадали; въ главномъ фокусѣ *F* одного зеркала *A* помѣщалъ горящее тѣло: свѣчу, или коробку съ угольями, а въ фокусѣ *G* другого зеркала *B*—чувствительный термометръ, или какой нибудь другой предметъ. Лучи нагрѣтаго тѣла, упавшіе на зеркало *A*, отражаются параллельно главной оптической оси, достигаютъ другого зеркала и, послѣ второго отраженія, сосредоточиваются въ фокусѣ *G* на термометрѣ; то же происходитъ съ лучами, испускаемыми термометромъ; но какъ термометръ больше пріобрѣтаетъ лучей, нежели теряетъ, то ртуть должна

въ немъ подняться, что и въ самомъ дѣлѣ наблюдается. Горючее тѣло, напр. фосфорная спичка, поставленная на мѣсто термометра, загорается. Если замѣнить свѣчу сосудомъ съ горячей водой, то лучи тепла, хотя будутъ слабѣе прежняго, но законы ихъ отраженія останутся тѣ же. Когда, вмѣсто нагрѣтаго тѣла, поставимъ кусокъ льду, то произойдетъ явленіе обратное: температура термометра понизится, потому что онъ будетъ больше терять лучей, нежели получать. Между фокусами можно помѣстить небольшой предметъ, не пропускающій теплородныхъ лучей, чтобы устранить непосредственный переходъ тепла изъ одного тѣла въ другое, безъ помощи зеркалъ; отъ этого, явленіе нисколько не перемѣнится.



Фиг. 596.

Если обратимъ зеркало къ лучамъ солнца, которые можно принять за параллельные, то въ фокусѣ получается столь сильное нагрѣваніе, что на разстояніи 200 футовъ можно зажечь дерево, а при короткомъ фокусномъ разстояніи свинецъ, серебро и даже желѣзо плавятся.

Количество отраженнаго теплорода зависитъ отъ вещества тѣлъ и степени ихъ полировки. Если примемъ за 100 количество лучей, упавшихъ на зеркала, приготовленныя изъ показанныхъ ниже веществъ, то количества отраженныхъ лучей выразятся слѣдующими числами:

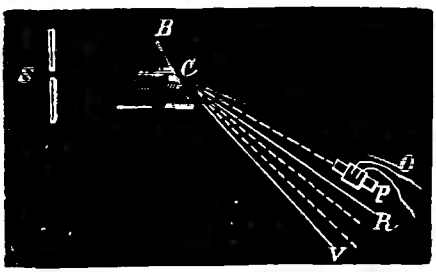
Серебро	97	Сталь	83
Золото	95	Чугунъ	74
Мѣдь	93	Стекло	9
Платина	83		

Металлическія зеркала сосредоточиваютъ въ фокусѣ больше тепла, нежели зеркала изъ другихъ веществъ; помощію большого мраморнаго зеркала, Бойль не могъ зажечь дерева.

Чѣмъ лучше зеркало полировано, тѣмъ болѣе теплородныхъ лучей отражается.

419. Преломленіе. Лучи теплорода, проходя чрезъ средины, преломляются по тѣмъ же законамъ, какъ лучи свѣта. Если обратимъ собирательное стекло къ солнцу, изъ котораго вмѣстѣ съ свѣтовыми лучами истекаютъ и теплородные, то въ главномъ фокусѣ стекла получимъ свѣтлое пятно; здѣсь же сосредоточивается такъ много тепла, что горючее тѣло, сюда помѣщенное, загорается. Двояковыпуклая чечевица изъ каменной соли, будучи обращена къ лучамъ, которые испускаются горящими дровами, или раскаленными углями, даетъ въ фокусѣ весьма замѣтное нагрѣваніе. Прево, приготовивъ изъ льда большую двояковыпуклую чечевицу, собралъ въ фокусѣ такъ много лучей солнца, что зажегъ дерево.

420. Спектръ теплородныхъ лучей. Введемъ въ темную комнату, чрезъ отверстіе S (фиг. 597), сдѣланное въ ставнѣ, лучъ солнца, и заставимъ его пройти чрезъ трехгранную призму B, сдѣланную изъ каменной соли и обращенную преломляющимъ ребромъ вверхъ. Безцвѣтный лучъ, какъ извѣстно, разложится на цвѣтные: фіолетовый V отклонится болѣе всѣхъ, R—наименѣе, а между ними пойдутъ прочіе цвѣтные лучи. Чтобы изслѣдовать теплородное дѣйствіе цвѣтныхъ лучей, надо имѣть весьма чувствительный термометръ.



Фиг. 597.

Ртутный термометръ для этого недостаточенъ, а потому пользуются термомультипликаторомъ p [322], заставляя падать разные цвѣтные лучи на одну изъ сторонъ термоэлектрической батареи и наблюдая соотвѣтствующее отклоненіе стрѣлки мультипликатора.

Въ фіолетовыхъ, синихъ и голубыхъ лучахъ нѣтъ никакого нагрѣванія, или крайне слабое; начиная съ зеленаго цвѣта, замѣчается теплородное дѣйствіе и увеличивается по мѣрѣ приближенія къ краснымъ лучамъ, но не здѣсь достигаетъ наибольшей величины. Самое сильное дѣйствіе наблюдается въ темномъ пространствѣ за краснымъ концомъ спектра; затѣмъ, оно ослабѣваетъ и, наконецъ, становится незамѣтнымъ за CO, на такомъ разстояніи отъ краснаго конца R спектра, на какомъ этотъ конецъ отстоитъ отъ фіолетоваго V.

Изъ этого опыта выходитъ, что солнечный лучъ состоитъ изъ лучей *видимыхъ* и *невидимыхъ*; изъ первыхъ наиболѣе преломляющіеся (фіолетовые, синіе и голубые) дѣйствуютъ только на глазъ, не производя нагрѣванія; прочіе цвѣтные лучи имѣютъ свойство дѣйствовать на глазъ и производить ощущеніе тепла; наконецъ, лучи съ наименьшимъ показателемъ преломленія не воспринимаются сѣтчатой оболочкой глаза и способны только производить нагрѣваніе. На этомъ основаніи, можно различать теплоту *свѣтлую* и *темную*. Къ первой принадлежатъ цвѣтные лучи (красные, оранжевые, желтые и зеленые), ко второй—темные лучи, падающіе за краснымъ концомъ спектра.

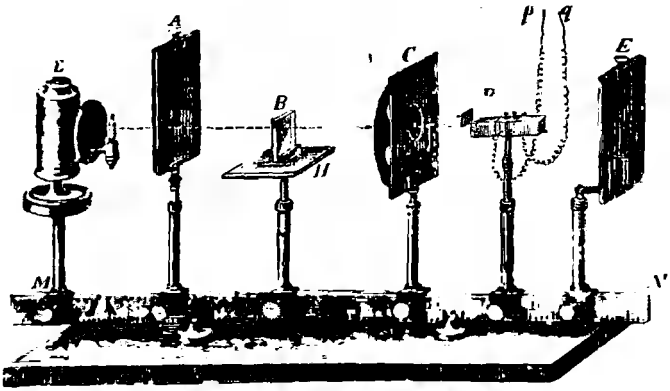
Дѣйствія каждаго спектральнаго луча нераздѣльны; нельзя напр. отнять у желтаго луча его теплородное дѣйствіе и оставить только свѣтовое, или обратно; по крайней мѣрѣ, до сихъ поръ этого никому не удавалось. Разные лучи спектра, какъ наприм. свѣтлые и темные, отличаются другъ отъ друга и отъ цвѣтныхъ лучей только своею преломляемостью. Если бы, уединивъ какой нибудь темный теплородный лучъ, мы могли бы постепенно увеличивать его показателя преломленія, то вмѣстѣ съ тѣмъ измѣнились бы и его свойства. Достигнувъ преломляемости красныхъ лучей, онъ пріобрѣлъ бы способность дѣйствовать на глазъ, далѣе обратился бы послѣдовательно въ лучи оранжевый, желтый и т. д.

Относительное количество темной и свѣтлой теплоты для разныхъ источниковъ свѣта различно. Въ солнечномъ свѣтѣ невидимыхъ темныхъ лучей столько же, какъ и свѣтлыхъ. Угли, раскаленные электрическимъ токомъ, даютъ въ 7 разъ болѣе темныхъ, чѣмъ свѣтлыхъ лучей.

421. Теплопрозрачность. Количество лучей свѣта, пропускаемыхъ какою либо срединою, зависитъ отъ рода лучей и средины. Если средина безцвѣтна, то, каковы бы ни были лучи, испускаемые источникомъ свѣта, они проходятъ чрезъ нее съ одинаковою легкостью. Когда же средина окрашена, то количество пропускаемыхъ лучей будетъ зависѣть отъ ихъ цвѣта. Такъ, въ случаѣ совершенно красной средины, никакихъ другихъ лучей не пройдетъ, кромѣ красныхъ. Подобныя явленія представляютъ лучи теплорода.

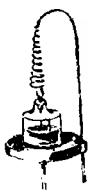
Меллони произвелъ по этому поводу множество опытовъ посредствомъ своего термомультипликатора, который обыкновенно располагаютъ такъ. На линейкѣ MN (фиг. 598), раздѣленной на дѣленія, утверждаютъ термоэлектрическую батарею D, отъ которой проволоки p и q проводятся къ неподвижно установленному мультипликатору. Къ той же линейкѣ привинчиваютъ еще слѣдующія части: источникъ тепла L, экранъ A, которымъ, въ случаѣ надобности, можно задержать притокъ теплородныхъ лучей; столикъ H, на который ставятъ испытуемую средину B; пластинку C съ рядомъ подвижныхъ діафрагмъ; экранъ E для задерживанія притока лучей тепла на противополож-

ную сторону термоэлектрической цѣпи. Всѣ эти части можно передвигать по линейкѣ MN. Самые опыты производятъ слѣдующимъ образомъ. Закрывъ отверстіе термоэлектрической цѣпи, ставятъ вертикально экранъ A и ждутъ, когда стрѣлка мультипликатора перестанетъ двигаться. Потомъ, открывъ одну сторону термоэлектрической батареи, обращенную къ источнику тепла L, снимаютъ тѣло B и отнимаютъ экранъ A. Лучи теплорода нагрѣваютъ спаи термоэлектрической батареи, и стрѣлка мультипликатора отклоняется. Потомъ, приводятъ все въ прежнее положеніе и повторяютъ опытъ, помѣстивъ предварительно на столикъ H испытуемую средину. Изъ наблюдаемыхъ отклоненій магнитной стрѣлки можно вычислить отношеніе между количествами лучей, достигшихъ термоэлектрической цѣпи въ обоихъ случаяхъ, и, слѣдовательно, опредѣлить, сколько тепла задержала средина B. Источниками тепла



Фиг. 598.

были: 1) лампа Локаттели L (фиг. 598), состоявшая изъ обыкновенной масляной лампы съ металлическимъ вогнутымъ зеркаломъ и безъ стеклянной трубы, употребляемой въ обыкновенныхъ лампахъ для увеличенія тяги; 2) накаленная платиновая проволока, помѣщенная въ парахъ спиртовой лампы (фиг. 599); 3) закопченая мѣдь C (фиг. 600), нагрѣваемая спиртовою лампою до 400°; 4) металлическій ящикъ G (фиг. 601) въ видѣ куба, наполненный водою, которую, помощію спиртовой лампы, поддерживаютъ при температурѣ кипѣнія.



Фиг. 599.

Фиг. 600.

Фиг. 601.

Изъ такихъ и подобныхъ тому изысканій оказалось слѣдующее:

Различныя вещества пропускаютъ чрезъ себя лучистую теплоту въ различной степени. Каменная соль и минералъ сильвинъ весьма прозрачны, и притомъ въ одинаковой степени для свѣтлой и темной теплоты. Въ противоположность этому, квасцы, ледъ, вода совершенно по-

глощаютъ темную теплоту. Вообще средины, прозрачныя для свѣтовыхъ лучей, не пропускаютъ чрезъ себя темные теплородные лучи. Стекло, изъ котораго приготовляютъ оптическіе снаряды, также мало пропускаетъ темной теплоты. Поэтому, для полученія темной части спектра, надо приготовлять призмы, а равнымъ образомъ и всѣ чечевицы, изъ каменной соли. Въ противномъ случаѣ, является только свѣтлая часть спектра, лучи которой имѣютъ способность производить и теплородное, и свѣтовое дѣйствіе: темная же теплота задерживается въ значительной степени. Растворъ іода въ нѣкоторой жидкости, называемой сѣроуглеродомъ, задерживаетъ всѣ свѣтлые лучи, а темные, напротивъ, пропускаетъ. Чтобы сдѣлать эти невидимые лучи ощутительными для глаза, ихъ собираютъ въ одну точку посредствомъ одной или болѣе выпуклыхъ чечевицъ. Если помѣстить въ фокусѣ какое либо твердое тѣло, то оно сильно нагрѣвается. Фосфорная спичка воспламеняется; можно зажечь черную бумагу, раскалить зачерненную платиновую пластинку, взорвать порохъ или огнестрѣльную вату. Мы пользуемся при этомъ, не всей темной теплотой, потому что много задерживается ея въ чечевицахъ, въ стеклянныхъ стѣнкахъ ящика, въ которой заключается испытуемая жидкость, но и оставшихся лучей достаточно, чтобы произвести упомянутыя дѣйствія.

Если лучи какого нибудь цвѣта обладаютъ способностью производить теплородное дѣйствіе, то, и пройдя чрезъ средину, сохраняютъ эту способность. Если средина задерживаетъ нѣкоторую часть лучей извѣстной преломляемости, то теплородное дѣйствіе ослабляется въ той же пропорціональности, какъ и свѣтовое.

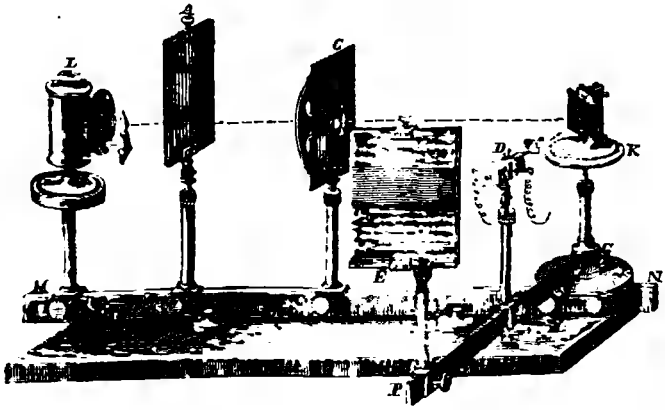
Средины, одинаково прозрачныя какъ для темной такъ и для свѣтлой теплоты, называется *теплопрозрачными* или *діатермическими*. Таковы каменная соль и минералъ сильвинъ. Вещества, непропускающія чрезъ себя никакихъ теплородныхъ лучей, или весьма мало, называются *нетеплопрозрачными* или *атермическими*. Таковы всѣ металлы, дерево, камни и проч.

Средины, задерживающія одинаковыя части, большія или малыя, всякихъ лучей, называются *теплобезцвѣтными*. Къ этому очень близки каменная соль и сильвинъ, впрочемъ весьма замѣтно поглощающіе лучи самой малой преломляемости, какія испускаютъ тѣла низкой температуры, наприм. мѣдный сосудъ съ горячей водой. Всѣ прочія средины *теплоокрашены*, то есть задерживаютъ лучи разной преломляемости въ разной степени; однѣ средины пропускаютъ только нѣкоторые цвѣтные лучи, другіе—всѣ свѣтлые лучи, задерживая всю темную теплоту (квасцы, ледъ, вода), третьи теплопрозрачны для однихъ

темныхъ лучей (растворъ іода въ сѣроуглеродѣ), четвертыя пропускаютъ всѣ свѣтлые лучи и тѣ темные, которые падаютъ въ спектрѣ вблизи краснаго цвѣта (стекло), и т. д. Вообще въ теплоокрашенныхъ срединахъ наблюдается еще большее разнообразіе, чѣмъ въ окрашенныхъ.

422. Разсѣяніе лучей теплорода. Теплоцвѣтность. Темные теплородные лучи, подобно свѣтлымъ, отражаются отъ полированной поверхности [337], а отъ поверхностей шероховатыхъ разсѣиваются во всѣ стороны и даютъ такъ называемую *разсѣянную теплоту*. Чѣмъ лучше тѣло полировано, тѣмъ болѣе тепла отражается, и тѣмъ менѣе его разсѣивается.

Сравнительная способность тѣлъ разсѣивать теплоту опредѣляется посредствомъ термомультипликатора. Въ L (фиг. 602) располагаютъ источникъ тепла, въ I помѣщаютъ неполированную пластинку изъ испытуемаго вещества, которую, чрезъ вращеніе около вертикальной оси, можно наклонять къ падающимъ лучамъ подъ всякими углами, измѣряемыми по окружности K. На линейкѣ PG, вращающейся около точки G, утверждаютъ термоэлектрическую цѣпь D и экранъ E. Такъ какъ теплородъ разбрасывается во всѣ стороны, и, слѣдовательно, на каждую точку пространства приходится его мало, то, для увеличенія дѣйствія, къ термоэлектрической цѣпи присоединяютъ полированный внутри конусъ изъ латуни*); тогда почти вся теплота, попавшая въ этотъ конусъ, отразясь отъ его стѣнокъ, падаетъ на спаи висмута и сурьмы.



Фиг. 602.

Такіе опыты приводятъ къ слѣдующимъ заключеніямъ:

Тѣла, разсѣивающія равныя части всякихъ теплородныхъ лучей, называются *теплобѣлыми*, а совсѣмъ неразсѣивающія — *теплочерными*. Тѣла, разсѣивающія неравныя части разныхъ теплородныхъ лучей, называются *теплоцвѣтными*. Металлы и кристаллы теплобѣлы;

*) На фигурѣ не показанъ.

бѣлая бумага, черный китайскій лакъ, полотна, шелковыя матеріи и проч. теплоцвѣтны. Сажа и свинцовыя бѣлила теплочерны, хотя и не вполнѣ, потому что разбрасываютъ небольшое количество теплорода. Притомъ бѣлила разсѣиваютъ неодинаково лучи разныхъ показателей преломленія, преимущественно поглощая тѣ, которые имѣютъ малыхъ показателей преломленія; слѣдовательно, бѣлила теплоцвѣтны. Сажа разсѣиваетъ всѣхъ лучей около $^1/_{10}$ доли; слѣдовательно, правильнѣе считать ее *теплосѣрою*.

423. Поглощательная способность. Когда темные или свѣтлые лучи теплорода падаютъ на какую либо поверхность, то одна часть ихъ проходитъ чрезъ тѣло, если оно теплопрозрачно, другая часть отражается, третья разбрасывается во всѣ стороны и, наконецъ, четвертая тѣломъ поглощается. Первыя три не производятъ измѣненія въ тѣлѣ; четвертая повышаетъ температуру.

Это послѣднее количество находятъ чрезъ вычитаніе суммы первыхъ трехъ частей изъ всего количества тепла, достигшаго тѣла.

Количество поглощаемой теплоты зависитъ отъ вещества и состоянія поверхности тѣла: полированныя поверхности поглощаютъ меньше шероховатыхъ.

Для доказательства поступаютъ такъ. Шарики дифференціальнаго термометра (фиг. 603) замѣняютъ цилиндрическими сосудами A и D. Между ними помѣщаютъ третій сосудъ FG съ горячей водой; всѣ три сосуда берутся съ параллельными днами. Тѣ стороны сосудовъ A и D, которыя обращены къ сосуду FG, покрываютъ у одного A позолотою, у другого D—сажей. Какъ только сосудъ FG поставятъ на мѣсто, между A и D, то тотчасъ же жидкость въ колѣнѣ DC опускается, а въ AB подымается. Отсюда слѣдуетъ заключить, что сосудъ D больше поглощаетъ тепла, нежели A.

Сажа имѣетъ наибольшую поглощательную способность, что и должно быть, потому что это вещество нетеплопрозрачно, не отражаетъ теплоты и мало разсѣиваетъ.

Количество свѣтовыхъ лучей, поглощаемыхъ тѣломъ, зависитъ отъ ихъ цвѣта; совершенно такъ же теплота поглощается въ различной степени, въ зависимости отъ ея показателя преломленія.

Такъ какъ относительныя количества лучей разной преломляемости у разныхъ источниковъ тепла различны, то количество тепла, поглощаемаго всякимъ тѣломъ, должно зависѣть отъ источника тепла, что и въ самомъ дѣлѣ наблюдается; такъ, поглощательная способность бѣлилъ почти въ $2^1/_2$ раза болѣе въ отношеніи лучей лампы Локаттели, нежели лампы Арганта. Только одна сажа поглощаетъ теплородные лучи разныхъ показателей преломленія одинаково. Это свойство сажи весьма драгоцѣнно при изслѣдованіяхъ надъ лучистымъ теплородомъ, потому что мы можемъ быть увѣрены, что всякая, покрытая ею поверхность поглощаетъ теплородные лучи въ одинаковой степени, отъ всѣхъ источниковъ тепла.

424. Лучеиспусканіе нагрѣтыхъ тѣлъ. Нагрѣтое тѣло испускаетъ во всѣ стороны лучи теплорода, которыхъ количество зависитъ отъ разности температуръ тѣла и среды; если эта разность не велика, можно допустить, что для одного и того же тѣла потеря тепла, употребленнаго на лучеиспусканіе, прямо пропорціональна разности температуръ.

На лучеиспусканіе оказываютъ вліяніе вещество тѣла и состояніе поверхности. Полированныя тѣла испускаютъ лучей меньше, нежели шероховатыя. Металлы имѣютъ меньшую лучеиспускательную способность; сажа, напротивъ, обладаетъ этимъ свойствомъ въ наибольшей степени.

Для доказательства, между сосудами A и D (фиг. 603) дифференціальнаго термометра помѣщаютъ сосудъ FG съ горячей водой; стороны этого сосуда обработаны различно: напримѣръ, одна G вызолочена, а другая F покрыта сажей; тогда замѣчаемъ, что жидкость въ колѣнѣ AB опускается, а въ CD повышается. Слѣдовательно, поверхность F испускаетъ болѣе лучей, нежели G.

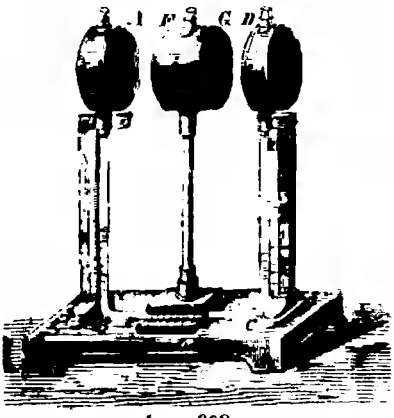
Газы испускаютъ теплоту весьма слабо; такъ, къ пламени водорода, имѣющему весьма высокую температуру, можно приблизить шарикъ термометра, и мы не замѣтимъ почти никакого измѣненія температуры. Пламя свѣчи, лампъ, свѣтильнаго газа гораздо болѣе даетъ лучей теплорода, потому что содержитъ въ себѣ раскаленныя частицы углерода. По той же причинѣ, платиновая проволока, накаливаемая въ несвѣтящемся пламени водорода, сильно свѣтится.

Лучеиспусканіе газовъ, какъ свѣтовое, такъ и теплородное, возрастаетъ съ увеличеніемъ давленія; такъ, водородъ, горящій въ струѣ кислорода при 10 атмосферахъ, даетъ весьма яркое пламя, которое съ помощію призмы разрѣшается въ непрерывный спектръ.

425. Сравненіе способностей поглощательной и лучеиспускательной. Способности тѣлъ поглощательная и испускательная пропорціональны [373] между собою. Для доказательства, помѣщаютъ мѣдный сосудъ FG съ горячей водой (фиг. 603) между резервуарами A и D дифференціальнаго термометра. Одна сторона G сосуда GF покрывается сажей, а обращенная къ ней сторона резервуара D—позолотою; другая сторона F сосуда FG наоборотъ — позолотой, а резервуара A—сажей. Тогда жидкость въ термометрѣ будетъ стоять въ обѣихъ трубкахъ BA и CD на одной высотѣ. Это показываетъ, что во сколько разъ сторона G больше испускаетъ лучей, нежели F, во столько же разъ D поглощаетъ менѣе, чѣмъ A.

426. Приложенія. Снѣгъ, какъ всѣ почти бѣлыя вещества, имѣетъ весьма слабыя способности: лучеиспускательную и поглощательную. По этой причинѣ, онъ предохраняетъ землю отъ холода, не дозволяя теряться теплотѣ чрезъ лучеиспусканіе. Весною, лучи солнца по-

глощаются снѣгомъ въ весьма незначительномъ количествѣ и почти всѣ разсѣиваются, а потому таяніе замедляется. Но если снѣгъ посыпать черным порошкомъ, напр. углемъ, то почти вся теплота поглощается и заставляетъ снѣгъ таять скорѣе. Зимою надо носить платье изъ бѣлыхъ матерій предпочтительно предъ черными, ибо первыя менѣе лучеиспускаютъ теплоты. Въ такія же платья лучше одѣваться и лѣтомъ, потому что бѣлыя вещества болѣе разсѣиваютъ лучи солнца, нежели черныя. Вѣроятно, по той же причинѣ, природа одарила полярныхъ животныхъ бѣлой шерстью и бѣлыми перьями. Нѣкоторыя животныя и нашихъ странъ перемѣняютъ шерсть къ зимѣ на бѣлую. Печи въ комнатахъ лучше красить черною краскою и дѣлать шероховатыми, чтобы, онѣ лучше испускали теплоту; напротивъ, стѣны лучше покрывать полированными металлическими листами, потому что тогда бо́льшая часть теплоты будетъ отражаться отъ стѣнъ назадъ во внутренность комнаты и, слѣдовательно, не выйдетъ наружу. — Впрочемъ, эти замѣчанія не всегда справедливы: такъ, бархатъ бѣлый и черный поглощаютъ равныя количества теплорода; то же должно сказать объ ихъ испускательной способности.



Фиг. 603.

Растенія въ парникахъ и оранжереяхъ закрываются стеклами, чрезъ которыя лучи солнца легко проникаютъ и нагрѣваютъ почву, лучи же нагрѣтой почвы, по причинѣ теплоцвѣтности стекла, не пропускаются назадъ, и температура въ парникѣ возвышается.

О ХИМИЧЕСКИХЪ ЛУЧАХЪ.

427. Фотографія. *Фотографія* или *свѣтопись* есть искусство утверждать на бумагѣ, металлѣ, стеклѣ и проч., изображенія, получаемыя въ камерѣ обскурѣ. Вотъ въ чемъ заключается это замѣчательное искусство — одно изъ самыхъ важныхъ открытій XIX столѣтія.

Многія вещества имѣютъ свойство разлагаться подъ вліяніемъ лучей нѣкоторыхъ источниковъ свѣта, каковы: солнце, электрическій свѣтъ и другіе, и, вслѣдствіе этого, измѣняться въ цвѣтѣ. Къ такимъ тѣламъ, между прочимъ, принадлежитъ хлористое серебро; будучи бѣлаго цвѣта, оно при дѣйствіи свѣта разлагается на хлоръ и мелко раздробленное серебро, которое въ этомъ

состояніи—черного цвѣта. Іодистое и бромистое серебро сами по себѣ мало чувствительны къ свѣту, но въ смѣшеніи съ другими веществами, каковы азотносеребряная соль, танинъ и другія, выдѣляютъ при дѣйствіи свѣта металлическое серебро и чернѣютъ.

Если матовое стекло камеры-обскуры (фиг. 534) замѣнить бумагой, содержащей въ своихъ порахъ хлористое серебро, то произойдетъ разложеніе, пропорціональное количеству лучей и, слѣдовательно, неодинаковое въ разныхъ точкахъ бумаги: въ тѣхъ мѣстахъ изображенія, куда упадетъ много свѣта, хлористое серебро разложится въ большемъ количествѣ и почернѣетъ, а въ темныхъ частяхъ это вещество либо останется совсѣмъ бѣлымъ, либо весьма мало измѣнится. Такимъ образомъ, будемъ имѣть картину внѣшнихъ предметовъ съ тою только разницею, что наиболѣе освѣщенныя части ихъ выйдутъ на бумагѣ темными, а тѣни—свѣтлыми, съ постепенными переходами освѣщенія или полутѣнями. Такое изображеніе называется *негативнымъ*. Полученный рисунокъ однакожъ не проченъ: какъ скоро поставимъ его на свѣтъ, то неразложившееся хлористое серебро также почернѣетъ, и изображеніе исчезнетъ. Чтобы сдѣлать его нечувствительнымъ къ свѣту, бумагу, по выходѣ изъ камеры, кладутъ въ водный растворъ сѣрноватистонатріевой соли—одного изъ немногихъ веществъ, способныхъ растворять хлористое серебро. Потомъ, бумага промывается еще въ водѣ, послѣ чего на ней останется только мелко раздробленное серебро, и изображеніе не будетъ уже измѣняться подъ вліяніемъ свѣта. Процессъ, которымъ рисунокъ дѣлается нечувствительнымъ къ свѣту, называется *фиксированіемъ*.

Негативныя изображенія удобнѣе получать на стеклѣ. Для этого въ сѣрномъ эфирѣ, смѣшанномъ со спиртомъ, растворяютъ *пироксилинъ**) и соединенія нѣкоторыхъ металловъ: калія, цинка, кадмія и проч., съ іодомъ и бромомъ; такой составъ называется *коллодіономъ*. На вычищенную стеклянную пластинку наливаютъ ровный слой этой жидкости. Сѣрный эфиръ и спиртъ быстро испаряются, и на стеклѣ остается тонкій прозрачный слой пироксилина, напитанный іодистыми и бромистыми металлами. Потомъ, пластинку опускаютъ въ водный растворъ азотносеребряной соли. Тогда серебро замѣняетъ всѣ металлы коллодіона, которые переходятъ въ растворъ, такъ что пленка, покрывающая стекло, будетъ содержать въ своихъ порахъ іодистое и бромистое серебро. Слой пироксилина дѣлается непрозрачнымъ и получаетъ свѣтложелтый цвѣтъ. Все это производится въ темной комнатѣ, слабо освѣщенной свѣчей. Потомъ, помѣщаютъ пластинку въ камеру-обскуру,—въ томъ мѣстѣ, гдѣ получается изображеніе.

При дѣйствіи свѣта, соединенія серебра, оставшагося на пластинкѣ, разлагаются, и появляется изображеніе. Но оно такъ слабо, что его почти никогда нельзя видѣть; чтобы дать ему надлежащее напряженіе, употребляется пріемъ, называемый *проявленіемъ* и заключающійся въ слѣдующемъ. На пластинкѣ остается азотносеребряная соль; если налить на стекло вещество, которое выдѣляло бы серебро изъ раствора, то мельчайшія частицы этого металла будутъ осаждаться преимущественно тамъ, гдѣ уже есть серебро; тогда изображеніе проявляется. Къ такимъ веществамъ принадлежатъ: водный растворъ желѣзнаго купороса, пирогаллина и проч. Пластинка потомъ промы-

*) Хлопчатая бумага, обработанная кислотами: сѣрной и азотной.

вается въ водѣ, затѣмъ фиксируется въ растворѣ сѣрноватистонатріевой соли, или синеродистаго калія, отъ чего пироксилинъ во всѣхъ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ свѣтъ не дѣйствовалъ, получаетъ прежнюю прозрачность; послѣ фиксированія, пластинка опять промывается въ водѣ.

Если между глазомъ и источникомъ свѣта помѣстить пластинку, то увидимъ на ней негативное изображеніе, гдѣ черныя и непрозрачныя мѣста будутъ соотвѣтствовать наиболѣе освѣщеннымъ точкамъ предмета, а болѣе или менѣе прозрачныя — тѣнямъ и полутѣнямъ. Положивъ негативъ на черную бумагу, или держа его противъ темнаго пространства, увидимъ позитивное изображеніе, то есть свѣтлыя части его будутъ соотвѣтствовать свѣтлымъ точкамъ предмета, темныя—темнымъ, потому что чрезъ прозрачныя части негатива будетъ видна черная бумага, а непрозрачныя мѣста, освѣщенныя падающими на нихъ лучами, покажутся относительно бѣлыми.

Время пребыванія пластинки въ камерѣ-обскурѣ зависитъ отъ силы свѣта, чувствительности снарядовъ и искусства фотографа; въ благопріятныхъ обстоятельствахъ, бываетъ достаточно почти одного мгновенія, а иногда требуется нѣсколько минутъ.

Съ негатива можно получить на бумагѣ сколько угодно прямыхъ и позитивныхъ изображеній. Для этого хорошую бумагу смачиваютъ съ одной стороны растворомъ поваренной соли и, высушивъ, кладутъ той же стороной на растворъ азотносеребряной соли; тогда натрій переходитъ въ растворъ, а серебро соединяется съ хлоромъ, образуя хлористое серебро: бумага, пропитанная этимъ веществомъ, должна быть высушена въ темной комнатѣ Если на такую бумагу положить стеклянную пластинку тою стороною, на которой находится изображеніе, и поставить на свѣтъ, то лучи будутъ задержаны черными или непрозрачными мѣстами негатива и пройдутъ чрезъ прозрачныя; поэтому, черныя пространства негатива дадутъ на бумагѣ бѣлыя, а бѣлыя—черныя. Когда изображеніе достаточно обрисовалось, бумагу промываютъ въ водѣ, потомъ въ растворѣ сѣрноватистонатріевой соли и опять въ чистой водѣ.

Позитивныя изображенія, послѣ обработки ихъ сѣрноватистонатріевой солью, получаютъ непріятный рыжій цвѣтъ. Для измѣненія его, бумагу промываютъ въ слабомъ растворѣ хлористаго золота, которое тогда разлагается; на частицы серебра осаждаются частицы золота, и цвѣтъ изображенія улучшается. Этотъ процессъ называется окрашиваніемъ (virage). Обыкновенно окрашиваніе производятъ ранѣе фиксированія, которое уже тогда мало измѣняетъ цвѣтъ изображенія. Во время окрашиванія, цвѣтъ постепенно переходитъ въ черный, или темнокоричневый, или въ синій и проч., смотря по продолжительности дѣйствія и по роду веществъ, которыя съ намѣреніемъ примѣшиваютъ къ раствору хлористаго золота.

Свѣтопись была открыта французомъ Дагерромъ въ 1839 году, послѣ многолѣтнихъ и неудачныхъ попытокъ. Его метода, впослѣдствіи усовершенствованная, названа въ честь изобрѣтателя *дагерротипомъ* и заключается въ слѣдующемъ. Берутъ серебряную, или мѣдную высеребренную пластинку и держатъ ее надъ парами: сначала іода, а потомъ брома. Тогда пластинка покрывается іодистымъ и бромистымъ серебромъ и теряетъ свою политуру. Послѣ болѣе или менѣе продолжительнаго дѣйствія свѣта въ камерѣ-обскурѣ, пластинку вносятъ въ темную комнату и держатъ надъ парами ртути, которая слегка подогрѣвается. Въ тѣхъ частяхъ пластинки, гдѣ отъ дѣйствія свѣта

возстановилось металлическое серебро, пары ртути осаждаются въ видѣ мелкихъ микроскопическихъ капель. Затѣмъ, изображеніе фиксируютъ. Пластинка получаетъ прежнюю зеркальность, кромѣ тѣхъ точекъ, гдѣ осѣла ртуть. Если будемъ смотрѣть на изображеніе, помѣстясь такъ, чтобы сзади насъ было темное пространство, то послѣднее отразится въ зеркальной поверхности пластинки и обозначитъ темныя части модели, между тѣмъ какъ пространства, покрытыя каплями ртути, укажутъ наиболѣе освѣщенныя и выдающіяся части предмета. Такимъ образомъ, мы будемъ видѣть позитивное изображеніе.

Дагерротипъ даетъ рисунки чрезвычайно нѣжные и точные до мельчайшихъ подробностей, видимыхъ только съ помощію микроскопа, что и составляетъ его неоспоримое превосходство предъ фотографіей на бумагѣ, на которой, по причинѣ ея неровности, замѣтной даже для простого глаза, изображенія относительно грубы и лишены мелкихъ подробностей. Но съ другой стороны, непрочность дагерротипнаго рисунка, который можно стереть слабымъ треніемъ, неудобство при его разсматриваніи, требующее особеннаго положенія рисунка и наблюдателя, а также и то обстоятельство, что каждая картина требуетъ новой съемки,—заставляетъ предпочитать фотографію на бумагѣ.

Одновременно съ Дагерромъ, трудился по части свѣтописи Никифоръ Ньепсъ и добился нѣкоторыхъ результатовъ, которые впослѣдствіи послужили началомъ *фотолитографіи* и *геліографіи*—искусствъ получать, помощію свѣта, на камнѣ, или металлѣ рельефныя изображенія, которыя потомъ можно типографической краской отпечатывать на бумагѣ. Основаніемъ этихъ методовъ служитъ способность нѣкоторыхъ тѣлъ подъ вліяніемъ свѣта дѣлаться нерастворимыми. Сюда между прочимъ принадлежатъ: асфальтъ или жидовская смола, смѣшеніе двухромокаліевой соли съ вишневымъ клеемъ, желатиной и проч. Изъ множества предложенныхъ процессовъ мы разсмотримъ только одинъ. Приготовляютъ водный растворъ двухромокаліевой соли съ вишневымъ клеемъ и покрываютъ имъ литографическій камень, которому потомъ даютъ обсохнуть въ темнотѣ, потому что сухой слой этой смѣси чрезвычайно чувствителенъ къ свѣту. Потомъ, на камень кладутъ негативъ и ставятъ на свѣтъ. Лучи пройдутъ чрезъ прозрачныя части стекла, соотвѣтствующія чернымъ частямъ предмета, и отнимутъ у вишневаго клея способность опять растворяться въ водѣ; напротивъ, подъ непрозрачными частями негатива, это вещество въ своихъ свойствахъ не измѣнится. Если теперь камень обмывать въ темной комнатѣ водою, то въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ свѣтъ не дѣйствовалъ, клей смоется, а гдѣ свѣтъ дѣйствовалъ — тамъ останется въ большемъ или меньшемъ количествѣ, и на поверхности камня обнаружится слабое рельефное изображеніе предмета. Чтобы увеличить углубленіе, камень обмываютъ слабымъ растворомъ азотной кислоты, которая разлагаетъ вещество камня, гдѣ былъ смытъ вишневый клей. Наконецъ, продолжительнымъ промываніемъ клей совершенно смываютъ. Если теперь провести по камню катушкой, смазанной типографской краской, то краска пристанетъ къ возвышеніямъ; придавивъ потомъ камень прессомъ къ бумагѣ, получимъ на ней позитивный отпечатокъ.

428. Спектръ химическихъ лучей. Пропустимъ лучъ свѣта въ темную комнату чрезъ отверстіе, сдѣланное въ ставнѣ, и заставимъ его упасть на призму. Если помѣстить въ томъ мѣстѣ, гдѣ получится спектръ, чувствительную фотографическую пластинку, то цвѣтъ ея измѣнится, хотя и неодинаково въ разныхъ частяхъ. За краснымъ концомъ спектра, куда падаютъ тем-

ные лучи теплорода и даже въ лучахъ красныхъ, оранжевыхъ и желтыхъ, пластинка сохраняетъ свой цвѣтъ, и если измѣняется, то весьма слабо. Въ лучахъ зеленыхъ, голубыхъ и проч. пластинка чернѣетъ, и тѣмъ больше, чѣмъ ближе къ фіолетовому краю спектра; но и здѣсь дѣйствіе не оканчивается: оно наблюдается за фіолетовымъ цвѣтомъ, въ темномъ пространствѣ, куда не падаетъ свѣтовыхъ лучей.— Отсюда выходитъ, что лучъ солнца можетъ дѣйствовать тремя способами: на органъ зрѣнія, производить нагрѣваніе и разлагать химическія вещества. Не каждый лучъ способенъ ко всѣмъ тремъ дѣйствіямъ: одни лучи могутъ только нагрѣвать,— это лучи, имѣющіе наименьшаго показателя преломленія; другіе даютъ одновременно явленіе тепла и свѣта; третьи ощущаются зрительнымъ нервомъ, производятъ нагрѣваніе и разлагаютъ вещества; четвертые дѣйствуютъ на глазъ и производятъ химическое дѣйствіе: наконецъ пятые, съ наибольшимъ показателемъ преломленія, обладаютъ только одними химическими свойствами. Эти послѣдніе называются *темными* химическими лучами.

Всѣ спектральные лучи, отъ темной теплоты до темныхъ химическихъ лучей, отличаются другъ отъ друга только своею преломляемостью. Если бы мы могли измѣнить преломляемость луча, то измѣнились бы и его качества. Если бы напр. увеличили преломляемость красныхъ лучей до фіолетовыхъ, то эти лучи потеряли бы свою способность теплородную, но пріобрѣли химическую и стали бы производить на глазъ впечатлѣніе фіолетоваго цвѣта. Равнымъ образомъ, если уменьшать преломляемость темныхъ химическихъ лучей, то они могутъ сдѣлаться видимыми, представляясь послѣдовательно голубыми, зелеными и проч., и, наконецъ, превратились бы въ темную теплоту. Дѣйствія каждаго луча нераздѣльны; мы не можемъ отдѣлить одно дѣйствіе и оставить другое, напр. оставить синему лучу только свѣтовое дѣйствіе и отнять отъ него химическое, или обратно.

Раскаленные газы и пары, кромѣ свѣтовыхъ лучей, производящихъ въ спектрахъ характерныя цвѣтныя линіи [371], испускаютъ еще невидимые теплородные и химическіе. Въ существованіи послѣднихъ можно убѣдиться, принимая спектръ раскаленнаго газа на фотографическую пластинку, на которой тогда рисуются видимыя характерныя линіи и, кромѣ ихъ, еще многія другія въ темной химической части спектра. Такимъ образомъ Маскаръ доказалъ, что желѣзо даетъ, кромѣ 460 свѣтлыхъ линій, еще 100 въ химической части спектра. Чувствительная фотографическая пластинка, помѣщенная въ солнечномъ спектрѣ, не чернѣетъ въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ находятся фраунгоферовы линіи. Такія же линіи получаются въ темной химической части спектра; онѣ обозначены Беккерелемъ буквами: L, M, N, O, P, Q, R, S, T. Маскаръ посредствомъ фотографіи нашелъ болѣе 700 фраунгоферовыхъ линій въ темной химической части спектра.

Относительное количество лучей всѣхъ трехъ родовъ (темной теплоты, лучей свѣта, темныхъ химическихъ лучей) въ разныхъ источникахъ свѣта различно. Обыкновенная свѣчка или масляная лампа даютъ мало химическихъ лучей, керосинъ — болѣе, электрическій и солнечный свѣтъ — весьма много; въ свѣтѣ горящей магніевой проволоки ихъ еще болѣе. Химическій спектръ электрической искры въ 10 разъ длиннѣе свѣтового.

429. Свойства химическихъ лучей, подобныя свойствамъ лучей свѣта и тепла. Химическіе лучи имѣютъ свойства, подобныя свойствамъ лучей свѣта и тепла: они также отражаются, преломляются и проч.

Одни вещества пропускаютъ чрезъ себя химическіе лучи въ большей или меньшей степени, другія задерживаютъ; первыя называются *діактиническими*, вторыя—*актиническими*. Изъ немногихъ изысканій, сдѣланныхъ по этому поводу, выходитъ, что наибольшая діактиническая способность принадлежитъ горному хрусталю и исландскому шпату; затѣмъ слѣдуютъ: стекло, вода, плавиковый шпатъ, поваренная соль.

Такъ какъ химическіе лучи имѣютъ наибольшаго показателя преломленія, то, проходя чрезъ собирательное стекло, они должны пересѣкаться ближе къ стеклу, нежели свѣтовые. Это обстоятельство составляло прежде большое затрудненіе при устройствѣ фотографическихъ аппаратовъ. Если поставить матовое стекло камеры-обскуры въ такомъ разстояніи отъ объектива, чтобы изображеніе было наилучшимъ образомъ очерчено, то изображеніе фотографируется не рѣзко, потому что чувствительная пластинка, совпадая съ оптическимъ фокусомъ, будетъ находиться дальше фокуса химическихъ лучей. Чтобы этого избѣгнуть, матовое стекло приближали къ объективу болѣе, нежели сколько слѣдовало для полученія яснаго свѣтового изображенія. Въ настоящее время умѣютъ приготовлять такіе объективы, въ которыхъ, чрезъ сочетаніе стеколъ, уничтожена разность въ фокусныхъ разстояніяхъ химическихъ и свѣтовыхъ лучей.

430. Фосфоресценція и флуоресценція. Подъ именемъ *фосфоресценціи* разумѣютъ свойство нѣкоторыхъ тѣлъ испускать изъ себя свѣтовые лучи безъ замѣтнаго отдѣленія тепла; это явленіе получило свое названіе отъ фосфора, который въ темнотѣ при обыкновенной температурѣ свѣтится. Фосфоресценція наблюдается у многихъ тѣлъ. Нѣкоторыя животныя низшихъ порядковъ издаютъ свѣтъ и испускаютъ изъ себя свѣтящуюся матерію. Отъ этого, въ теплыхъ странахъ, взволнованная морская вода кажется иногда самосвѣтящеюся, что особенно замѣтно на гребняхъ волнъ, на бороздахъ, оставляемыхъ послѣ себя кораблемъ, и проч. То же свойство имѣютъ многія животныя на сушѣ; между ними назовемъ свѣтящагося червяка, котораго только задняя часть (abdomen) испускаетъ свѣтъ. Нѣкоторыя растенія также фосфоресцируютъ, хотя весьма слабо.

Теплота, электричество, свѣтъ могутъ возбудить фосфоресценцію въ такихъ тѣлахъ, которыя, при обыкновенныхъ условіяхъ не свѣтятся. Алмазъ и многіе другіе драгоцѣнные камни, мѣлъ, мука и проч., будучи нагрѣты, свѣтятся въ темнотѣ, хотя температура ихъ будетъ ниже 100°. Круксъ нашелъ способъ возбуждать фосфоресценцію у многихъ веществъ, между которыми алмазъ стоитъ на первомъ мѣстѣ; вещества эти вводятся въ трубки, подобныя гейслеровымъ, гдѣ газъ доводятъ до крайней степени разрѣженія, и подвергаются дѣйствію индуктивнаго тока [318]. —Число веществъ, которыя свѣтъ заставляетъ фосфоресцировать, весьма велико. Но особенно ясно и весьма красиво проявляется фосфоресценція въ такъ называемомъ *болонскомъ фосфорѣ*; это ничто иное, какъ сѣрнистые барій, стронцій и кальцій. Не всѣ лучи спектра способны возбудить фосфоресценцію; въ наибольшей степени этимъ свойствомъ обладаютъ темные химическіе лучи; лучи же съ малыми показателями преломленія, какъ наприм. красный, даже уничтожаютъ возбужденное уже фосфоресцированіе. —Показатель преломленія лучей, испускаемыхъ фосфоресцирующимъ тѣломъ, менѣе показателя преломленія тѣхъ лучей, подъ вліяніемъ которыхъ оно находилось.

Нѣкоторыя вещества, будучи помѣщены въ лучахъ спектра, начинаютъ свѣтиться и мгновенно теряютъ это свойство, какъ скоро ихъ оттуда удалятъ. Невидимые химическіе лучи производятъ сильнѣйшее дѣйствіе, фіолетовые и синіе—весьма слабое, прочіе цвѣтные лучи—никакого. Къ такимъ веществамъ принадлежатъ: урановое стекло, флоресценъ, растворенный въ нашатырномъ спиртѣ, растворъ въ окисленной водѣ, или спиртѣ, сѣрнохининовой соли, хлорофила и другихъ, и, наконецъ, фтористый кальцій, отъ котораго заимствовано самое названіе явленія—*флуоресценція*. Лучи испускаемые флуоресцирующимъ веществомъ, имѣютъ меньшаго показателя преломленія, нежели лучи возбуждающіе. Такъ, растворъ сѣрнохининовой соли въ синихъ лучахъ спектра кажется краснымъ; потомъ, по мѣрѣ приближенія къ фіолетовому концу спектра и далѣе, это вещество постепенно принимаетъ цвѣта: оранжевый, зеленый и, наконецъ, голубой.

Явленія фосфоресценціи и флуоресценціи еще весьма мало разъяснены.

О ДВИЖЕНІИ.

431. Когда, силы дѣйствующія на какое либо тѣло, не уравновѣшиваются, то тѣло начинаетъ двигаться. Если, напримѣръ, параллельныя силы, дѣйствующія на прямолинейный рычагъ, не находятся въ обратной пропорціональности съ плечами, то рычагъ будетъ вращаться,—и именно въ сторону той силы, которой величина болѣе, чѣмъ слѣдовало бы ей быть по пропорціи. Когда тѣло совершенно свободно, то всякая сила способна произвести движеніе.

Движеніе тѣла есть явленіе вообще довольно сложное: тѣло, двигаясь поступательно, можетъ въ то же время вращаться на оси, которая при этомъ еще перемѣняетъ иногда свое мѣсто въ тѣлѣ; въ то же время можетъ измѣняться форма самого тѣла, и проч. Мы будемъ разсматривать простѣйшій случай: когда всѣ точки двигаются параллельно между собою. Въ такомъ движеніи достаточно изслѣдовать движеніе какой либо одной точки тѣла, потому что всѣ прочія двигаются точно такъ же. Подобное явленіе представляетъ падающее въ пустотѣ вѣсомое тѣло, висѣвшее прежде на ниткѣ, которую потомъ пережгли. Такимъ образомъ, при послѣдующемъ изложеніи надо всегда разумѣть матеріальную частицу, то есть тѣло безконечно малыхъ размѣровъ, или относить сужденіе хотя къ тѣлу посредственной величины, но такому, въ которомъ всѣ частицы двигаются одинаковымъ образомъ.

Равномѣрное и прямолинейное движеніе. Какъ скоро тѣло, неудерживаемое никакими препятствіями, мгновенною или непрерывною силою приведено въ движеніе и потомъ предоставлено самому себѣ, то, вслѣдствіе инерціи, оно будетъ двигаться равномѣрно и по прямой ли-

ніи. Скоростью въ этомъ случаѣ называется пространство, пробѣгаемое тѣломъ въ единицу времени. Назвавъ чрезъ S пространство, пройденное тѣломъ въ промежутокъ времени t, а чрезъ V скорость, получимъ равенство:

$$S = Vt,$$

изъ котораго по двумъ изъ трехъ величинъ: S, V и t можемъ всегда найти третью. Такъ напримѣръ, отъ Петербурга до Москвы по желѣзной дорогѣ, считается 604 версты. Пусть локомотивъ, двигаясь равномѣрно, пробѣгаетъ каждую секунду 5 сажень; чтобы узнать, во сколько времени пройдетъ онъ всю дорогу, нужно раздѣлить $S = 604$ вер. на $v = 5$ сажень; тогда найдемъ $t = 60400$ секундамъ $= 16\,^7/_9$ часа.

432. Неравномѣрное и криволинейное движеніе. Если движущееся тѣло совершенно свободно, то движеніе неравномѣрное, или криволинейное, или то и другое вмѣстѣ, возможно только въ томъ случаѣ, когда свободное тѣло находится подъ непрестаннымъ вліяніемъ непрерывной силы. Итакъ, пусть непрерывная сила P дѣйствуетъ на свободную матеріальную частицу. Раздѣлимъ единицу времени, напр. 1 секунду, на чрезвычайно малые промежутки, которые, для сокращенія рѣчи, назовемъ *элементами времени*. Непрерывную силу можно разсматривать какъ рядъ толчковъ, сообщаемыхъ тѣлу въ началѣ каждаго элемента, предполагая при томъ, что впродолженіе самого элемента эта сила не дѣйствуетъ. Такое предположеніе конечно несогласно съ понятіемъ о непрерывной силѣ, но оно тѣмъ ближе къ истинѣ, чѣмъ элементы времени и толчки меньше, и, наконецъ, будетъ вполнѣ выражать явленіе, когда элементы сдѣлаются неизмѣримо малыми. Пусть во все время движенія, непрерывная сила F старается приблизить матеріальную частицу M (фиг. 604) къ одной и той же точкѣ A. Пусть, кромѣ того, частица M отъ дѣйствія мгновенной силы получила скорость по направленію линіи MB. Если бы сила F не дѣйствовала, то частица M пробѣжала бы въ первый элементъ времени, равномѣрнымъ движеніемъ, нѣкоторую линію MB; напротивъ, еслибы частица не имѣла этой начальной скорости и повиновалась только силѣ F, то, получивъ одинъ толчекъ въ началѣ перваго элемента, она прошла бы равномѣрнымъ движеніемъ въ этотъ элементъ, по направленію дѣйствія силы, линію MC. Такимъ образомъ, матеріальная частица, будучи принуждена двигаться равномѣрно по двумъ направленіямъ, пойдетъ по діагонали MM_1 параллелограмма, построеннаго на линіяхъ MC и MB, и къ концу перваго элемента времени достигнетъ точки M_1. Еслибы дѣйствіе силы F болѣе не повторялось, то частица M пробѣжала бы, вслѣдствіе инерціи, во второй элементъ времени, линію M_1D, равную MM_1; но такъ

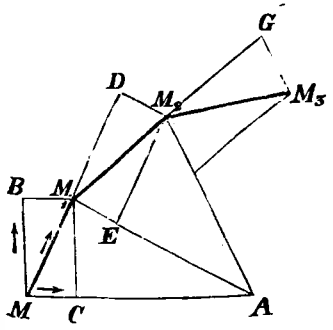
какъ сила F сообщаетъ этой частицѣ въ началѣ 2-го элемента времени толчекъ и тѣмъ заставляетъ ее, впродолженіе этого элемента времени, приблизиться къ A, на M_1E, то частица къ началу третьяго элемента времени будетъ въ M_2, на концѣ діагонали параллелограмма, построенаго на линіяхъ M_1D и M_1E; въ третій элементъ времени, если не принимать во вниманіе силу F, частица должна пройти, по инерціи, пространство $M_2G = M_1M_2$ и т. д.

Такимъ образомъ, частица будетъ двигаться по измѣняющимся безпрестанно направленіямъ: MM_1, M_1M_2..... Если элементы времени уменьшатся до безконечности, то ломаная линія $MM_1M_2M_3$ обратится въ кривую.

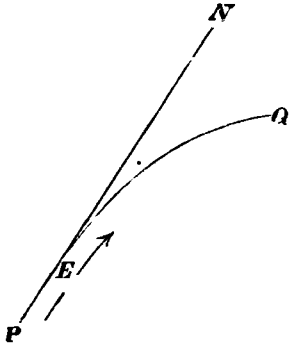
Мы предполагали, что F постоянно стремится приблизить матеріальную частицу къ точкѣ A, но не трудно видѣть, что слѣдствія будутъ тѣ же, хотя бы сила F имѣла какое угодно направленіе. Родъ кривой или *траекторіи* зависитъ отъ величины и направленія первоначальной скорости, сообщенной частицѣ, а также отъ того, какъ измѣняются направленіе и величина силы F. Если, напримѣръ, сила F есть взаимное притяженіе, обнаруживаемое неподвижною частицею A на M по законамъ Ньютона, то кривая, описываемая точкою M, будетъ, какъ это доказывается въ механикѣ, либо окружность, либо эллипсъ, либо парабола, либо гипербола.

Если матеріальная частица M получила первоначальный толчекъ по направленію непрерывной силы, или въ обратную сторону, или совсѣмъ не имѣла вначалѣ скорости, пребывая въ покоѣ, то будетъ двигаться по прямой линіи MA, приближаясь, или удаляясь отъ точки A. Въ этомъ случаѣ, движеніе будетъ неравномѣрное, потому что равномѣрное и прямолинейное движеніе возможно только отъ одного толчка.

433. Скорость. Пусть матеріальная частица подъ вліяніемъ непрерывной силы описываетъ кривую линію PEQ (фиг. 605). Еслибы



Фиг. 604.



Фиг. 605.

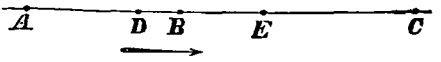
въ то время, когда частица пришла въ точку E, сила F перестала дѣйствовать, то частица, стремясь, вслѣдствіе инерціи, сохранить такое направленіе движенія, какое имѣла въ это мгновеніе, должна двигаться равномѣрно по касательной EN къ кривой въ точкѣ E; пространство, пробѣгаемое имъ тогда въ единицу времени, называется *скоростью*. Такимъ образомъ, *скоростью въ перемѣнномъ движеніи называется та скорость, которую бы тѣло имѣло, еслибы съ извѣстнаго мгновенія стало двигаться равномѣрно, вслѣдствіе прекращенія дѣйствія непрерывной силы.* Для поясненія сказаннаго приводимъ примѣры. Когда горитъ порохъ въ дулѣ орудія, то образующіеся при этомъ газы давятъ своею упругостью на артиллерійскій снарядъ и, преодолѣвая его инерцію, сообщаютъ ему все бо́льшую и бо́льшую скорость, пока снарядъ не выйдетъ изъ орудія; тогда дѣйствіе силы прекращается, и движеніе ядра становится равномѣрнымъ. Скоростью снаряда называется та скорость, которую онъ имѣетъ, когда вылетаетъ изъ дула орудія. Замѣтимъ, что хотя бы каналъ орудія былъ кривой, движеніе снаряда по выходѣ изъ дула осталось бы все таки равномѣрное и прямолинейное *).—Скорость поѣзда по желѣзной дорогѣ бываетъ въ началѣ движенія очень мала, вслѣдствіе того, что упругая сила пара должна преодолѣть инерцію локомотива и привязанныхъ къ нему вагоновъ, и медленно возрастаетъ, по мѣрѣ преодолѣванія этихъ препятствій. Еслибы захотѣли знать скорость для нѣкотораго мгновенія, напр. въ концѣ 10-й секунды, то надо было бы прекратить дѣйствіе паровъ и опредѣлить пространство, которое поѣздъ пробѣжитъ въ 11-ю секунду, конечно допуская, что треніе и сопротивленіе воздуха не окажутъ вліянія на движеніе.

Если скорость все уменьшается, то движеніе называется *замедленнымъ*; когда оно увеличивается, то—*ускореннымъ*. Когда скорость уменьшается или увеличивается чрезъ равные промежутки времени, на одну и ту же величину, то движеніе соотвѣтственно имѣетъ названія — *равномѣрно замедленнаго* и *равномѣрно ускореннаго*.

434. Ускореніе. Когда свободное тѣло, не встрѣчая сопротивленій, двигается по прямой линіи равномѣрно, то это признакъ, что оно получило одинъ толчекъ отъ мгновенной силы и не подвержено постоянному вліянію непрерывной силы. Напротивъ, если свободное тѣло двигается по кривой линіи равномѣрно, или неравномѣрно, или хотя и по прямой, но неравномѣрно, то должно заключить, что на тѣло дѣйствуетъ нѣкоторая непрерывная сила. Пусть свободная матеріальная частица

*) Предполагая, что сила тяжести на снарядъ не дѣйствуетъ и что движеніе совершается въ пустотѣ.

двигается по прямой линіи ABC отъ A къ C (фиг. 606) неравномѣрно; тогда необходимо допустить, что и непрерывная сила дѣйствуетъ по той же самой линіи, потому что, въ противномъ случаѣ, движеніе было бы криволинейное. Предположимъ, что частица, прійдя въ точку A, имѣла скорость v, потомъ чрезъ одну секунду достигла B, гдѣ скорость была v_1; далѣе, еще черезъ секунду частица пришла въ C со скоростью v_2. Разности v_2-v_1 и v_1-v выразятъ измѣненіе скорости чрезъ равные промежутки времени, именно чрезъ одну секунду. Если сила F постоянна, то, уподобляя ее ряду толчковъ, повторяемыхъ чрезъ безконечно малые и равные между собою промежутки времени, мы должны допустить, что всѣ эти толчки между собою равны. Тогда приращенія скорости, чрезъ одинаковые промежутки времени, должны быть также равны, то есть



Фиг. 606.

$$v_2-v_1=v_1-v,$$

и, слѣдовательно, частица будетъ имѣть равномѣрно ускоренное, или равномѣрно замедленное движеніе: первое—когда сила дѣйствуетъ отъ A къ C, т. е. по направленію движенія, а второе—если сила направляется въ противоположную сторону. *Приращеніе скорости въ единицу времени*, въ случаѣ движенія равномѣрно ускореннаго, или равномѣрно замедленнаго, *называется ускореніемъ*. Если скорость увеличивается (равномѣрно ускоренное движеніе), то ускореніе считается положительнымъ; если скорость уменьшается (равномѣрно замедленное движеніе), то ускореніе принимаютъ величиной отрицательной. Если напримѣръ говорятъ, что ускореніе нѣкоторой движущейся частицы не измѣняется съ теченіемъ времени и постоянно равно 5 фут., то это значитъ, что частица двигается равномѣрно ускоренно, при чемъ скорость каждую секунду увеличивается на 5 фут. Если ускореніе частицы равно —5 фут., то частица двигается равномѣрно замедленно, при чемъ скорость ея чрезъ каждую секунду уменьшается на 5 фут.

Опытъ показываетъ, что во сколько разъ больше сила, во столько же разъ болѣе производимое ею дѣйствіе; поэтому, слѣдуетъ допустить, что *ускореніе пропорціонально силѣ*.—Въ прямолинейныхъ движеніяхъ, равномѣрно ускоренномъ и равномѣрно замедленномъ, сила есть величина постоянная; ускореніе, какъ пропорціональное силѣ, также должно сохранять, во все время движенія, одну и ту же величину. Чтобы опредѣлить посредствомъ опыта величину ускоренія, надо замѣтить приращеніе скорости въ нѣкоторый промежутокъ времени и раздѣлить

это приращеніе на число протекшихъ единицъ времени. Въ движеніи равномѣрномъ и прямолинейномъ ускореніе равно нулю.

Пусть теперь на тѣло, движущееся по прямой AC, дѣйствуетъ непостоянная сила по направленію той же линіи; тогда величина толчковъ, получаемыхъ матеріальной частицей, должна быть неодинакова въ разные элементы времени, а потому и приращенія скорости будутъ неравны. Вообразимъ, что, начиная съ того мгновенія, когда матеріальная частица стала двигаться отъ точки A, непрерывная сила перестаетъ измѣняться, сохраняя ту величину, какую она имѣла въ этой точкѣ; вмѣстѣ съ тѣмъ, и толчки сдѣлаются равными, и движеніе обратится въ равномѣрно ускоренное, или равномѣрно замедленное. При такомъ предположеніи частица чрезъ секунду придетъ уже не въ точку B, въ которую ей въ дѣйствительности слѣдовало бы придти, а въ D, или E, то есть ближе, или дальше: въ D, когда въ дѣйствительности сила F увеличивается, а въ E—если она уменьшается. Достигнувъ точки D, или E, частица будетъ имѣть нѣкоторую скорость u, неравную v_1. Разность $u - v$ называется ускореніемъ. Такимъ образомъ, *ускореніемъ вообще называется приращеніе скорости въ единицу времени, еслибы съ даннаго мгновенія сила сохранила свою величину на этотъ промежутокъ времени.— Ускореніе отъ перемѣнной силы*, какъ и отъ постоянной, *пропорціонально силѣ.*

435. Движенія равномѣрно ускоренное и равномѣрно замедленное. Пусть постоянная сила непрерывно дѣйствуетъ по направленію движенія, или въ противную сторону, на свободную матеріальную частицу, имѣющую уже скорость b. Требуется опредѣлить скорость по истеченіи времени t и пройденное частицей пространство. Раздѣлимъ 1 сек. на элементы, а силу будемъ разсматривать какъ рядъ толчковъ, получаемыхъ частицей въ началѣ каждаго элемента, и назовемъ чрезъ p приращеніе скорости отъ одного толчка. Впродолженіе перваго элемента, скорость будетъ $b+p$, впродолженіе второго $b+2p$. третьяго $b+3p$ и т. д. Если въ секундѣ n элементовъ, то, по прошествіи t секундъ или nt элементовъ времени, скорость, которую назовемъ чрезъ v, будетъ:

$$v=b+pnt.$$

Количество pn есть ускореніе, ибо означаетъ приращеніе скорости въ единицу времени; назвавъ его чрезъ g, получимъ:

$$v=b+gt \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (1)$$

Формулу эту можно получить проще. Въ самомъ дѣлѣ, если каждую секунду скорость возрастаетъ на g, то въ t сек. она увеличится на gt и. значитъ, будетъ равна $b+gt$.

Для опредѣленія величины пространства, пройденнаго частицей впродолженіе t секундъ, найдемъ, сколько пробѣжала частица въ каждый элементъ времени, и полученныя количества сложимъ. Впродолженіе перваго элемента, частица имѣетъ скорость $b+p$; поэтому, пространство, ею пройденное впродолженіе этого элемента, будетъ $\frac{b+p}{n}$*). Впродолженіе второго элемента скорость равна $b+2p$; поэтому, пространство, пройденное во второй элементъ, будетъ $\frac{b+2p}{n}$. Такъ же найдемъ, что пространство, пройденное въ третій элементъ равно $\frac{b+3p}{n}$ и т. д.; наконецъ, въ послѣдній $\frac{b+pnt}{n}$. Называя пространство, которое прошла частица отъ начала движенія, чрезъ S, получимъ:

$$S=\frac{b}{n}nt+\frac{p}{n}+\frac{2p}{n}+\frac{3p}{n}+\cdots\cdots+\frac{pnt}{n},$$

или. взявъ $\frac{p}{n}$ во всѣхъ членахъ, кромѣ перваго, за общаго множителя,

$$S=bt+\frac{p}{n}(1+2+3\ldots\ldots\ldots\ldots+nt).$$

Количество, стоящее въ скобкахъ, есть сумма членовъ ариѳметической прогрессіи, а потому

$$S=bt+\frac{p}{n}\cdot\frac{1+nt}{2}\cdot nt.$$

Замѣчая, что

$$1+nt=n\left(\frac{1}{n}+t\right),$$

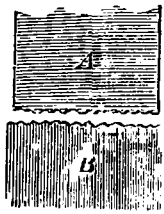
найдемъ

$$S=bt+\frac{pnt}{2}\left(\frac{1}{n}+t\right).$$

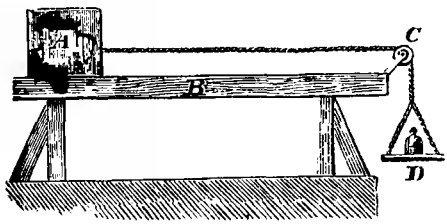
Полагая n равнымъ безконечно большому числу, будемъ имѣть, по причинѣ равенства $pn=g$, что

$$S=bt+\frac{gt^2}{2}\cdot\cdot\cdot

въ томъ, что, какъ бы тѣло ни было хорошо отполировано, всегда бываютъ на немъ неровности—возвышенія и углубленія—хотя и весьма малыя; на фигурѣ 607 изображенъ въ увеличенномъ размѣрѣ разрѣзъ двухъ отполированныхъ поверхностей. Если два тѣла *A* и *B* будемъ тереть одно о другое, то возвышенія одного войдутъ въ углубленія другого, и мы должны будемъ преодолѣвать сопротивленіе; при этомъ нѣкоторыя, наиболѣе выдающіяся части будутъ срываться и неровности сглаживаться. Отсюда объясняется, почему поверхности при треніи полируются. Треніе въ общежитіи имѣетъ весьма важное значеніе. Гвоздь, вколоченный въ доску, потому только не выталкивается назадъ упругостью дерева, что между нимъ и стѣнками отверстія существуетъ сильное треніе. Узелъ, сдѣланный изъ веревки, долженъ былъ бы развязаться, вслѣдствіе ея упругости, если бы тому не препятствовало треніе. Вещи, лежащія на столѣ, который всегда имѣетъ бо́льшую или меньшую покатость, не могли бы на немъ держаться, если бы не было тренія. Безъ тренія невозможно былобы движеніе локомотива по желѣзной дорогѣ, и проч.



Фиг. 607.



Фиг. 608.

Величину тренія при разныхъ обстоятельствахъ можно опредѣлить посредствомъ особаго прибора, изобрѣтеннаго Кулономъ и называемаго *трибометромъ*. Этотъ приборъ состоитъ изъ горизонтальнаго стола *B* (фиг. 608). Тѣло *A* кладутъ на столъ и привязываютъ къ веревкѣ, параллельной поверхности стола и перекинутой чрезъ блокъ *C*. На другомъ концѣ веревки, прикрѣплена чашка *D*, на которую кладутъ гири, чтобы преодолѣть треніе между поверхностями предмета *A* и стола. Пока тѣло остается въ покоѣ, величина тренія болѣе вѣса гири, положенной на чашку; прибавляя постепенно гири, можно достигнуть того, что тѣло станетъ двигаться. Надо замѣтить точно то мгновеніе, когда нарушается равновѣсіе; тогда вѣсъ гири будетъ приблизительно равенъ тренію.

Подвергая испытанію тѣла изъ разныхъ веществъ, разной полировки, вѣса и проч., нашли слѣдующіе законы:

1) Треніе уменьшается, когда трущіяся тѣла смазаны какимъ либо жирнымъ веществомъ, а тонкій слой воды между металлическими поверхностями почти совершенно уничтожаетъ треніе. По этой причинѣ. оси колесъ въ экипажахъ и машинахъ смазываются саломъ, масломъ, дегтемъ. Когда рельсы желѣзной дороги смочены дождемъ, то локомотивъ идетъ медленнѣе обыкновеннаго, потому что колеса его, встрѣчая малое сопротивленіе, вертятся, не подаваясь впередъ.

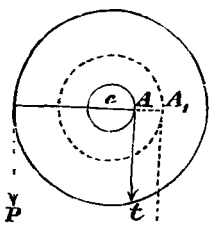
2) Треніе между однородными тѣлами болѣе, нежели между разнородными. На этомъ основаніи, подставки въ вѣсахъ дѣлаются изъ одного вещества, а призма—изъ другого.

3) Треніе тѣмъ меньше, чѣмъ трущіяся поверхности лучше полированы.

4) Треніе прямо пропорціонально давленію.

5) Величина тренія не зависитъ отъ величины поверхностей трущихся тѣлъ, если только прочія обстоятельства одинаковы. Многогранникъ, котораго грани одинаково хорошо отполированы, хотя и разной величины, даетъ одно и то же треніе, какой бы стороной своей ни лежалъ на плоскости стола B.

Изъ этого послѣдняго закона выходитъ, что, какой бы толщины ни была ось, на которой вращается колесо, треніе остается одно и то же. Однакожъ, вліяніе тренія или препятствіе, которое оно оказываетъ движенію, бываетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ тоньше ось. Пусть на оси c (фиг. 609) вращается колесо. Треніе можно замѣнить грузомъ t, который дѣйствуетъ на окружность оси и стремится повернуть колесо въ сторону, противную съ той, куда заставляетъ двигаться сила P, приложенная къ окружности колеса. Назвавъ cA радіусъ оси чрезъ r, а колеса—чрезъ R, найдемъ, что при постепенномъ возрастаніи силы P наступитъ мгновеніе, когда силы t и P уравновѣсятся; въ эту пору



Фиг. 609.

$$\frac{t}{P}=\frac{R}{r} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (m)$$

Если сила P станетъ еще больше, то колесо будетъ вращаться въ сторону этой силы [75].

Если ось сдѣлается толще, такъ что радіусъ ея cA_1, который назовемъ чрезъ r_1, будетъ болѣе r, то, хотя величина тренія t не измѣнится, потребуется сила P_1, больше P, чтобы нарушить равновѣсіе. Въ самомъ дѣлѣ, подобно предыдущему, будемъ имѣть для равновѣсія силъ t и P_1:

$$\frac{t}{P_1}=\frac{R}{r_1} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (n)$$

Раздѣливъ обѣ части равенствъ (m) и (n) одну на другую—первую на первую и вторую на вторую—получимъ:

$$\frac{P_1}{P}=\frac{r_1}{r}.$$

Отсюда видимъ, что сила, уравновѣшивающая силу тренія, прямо пропорціональна радіусу оси. По этой причинѣ, оси въ экипажахъ и машинахъ стараются сдѣлать тоньше, приготовляя ихъ изъ веществъ весьма твердыхъ.

Надо различать треніе двухъ родовъ. Треніемъ перваго рода называется то треніе, которое испытываетъ тѣло, когда двигается, *скользя* по поверхности другого тѣла; это треніе мы уже разсмотрѣли. Треніе второго рода есть сопротивленіе, испытываемое тѣломъ, когда оно *катится*, не скользя по поверхности другого тѣла. Еслибы совершенно

полированный шаръ катился по совершенно полированной горизонтальной плоскости, то не испытывалъ бы никакого тренія. Но, по причинѣ неровностей поверхности, шаръ долженъ будетъ безпрестанно то подыматься на возвышенія, то опускаться въ углубленія, при чемъ каждый разъ теряется часть скорости; онъ испытываетъ тогда треніе второго рода. Въ случаѣ грузовъ, перевозимыхъ на колесахъ, къ этому тренію присоединяется еще треніе 1-го рода—колесъ объ оси. На обыкновенныхъ немощеныхъ дорогахъ, треніе 2-го рода составляетъ $^1/_{16}$ часть груза, на мостовой $^1/_{30}$, а по желѣзнымъ рельсамъ только $^1/_{233}$.

Треніе испытываютъ также твердыя тѣла, когда они двигаются въ прикосновеніи съ жидкостями, какъ напримѣръ суда въ водѣ, или ядро въ воздухѣ; когда жидкость или газъ текутъ по трубамъ и проч. Въ длинныхъ и тонкихъ трубкахъ треніе бываетъ иногда такъ велико, что жидкость или газъ могутъ совсѣмъ остановиться.

437. Сопротивленіе средины. Твердое тѣло, движущееся въ воздухѣ, въ водѣ, или какой нибудь другой средѣ, должно преодолѣвать два препятствія къ движенію: треніе о среду и инерцію ея частицъ, выводимыхъ движущимся тѣломъ изъ покоя; отъ этого, скорость тѣла уменьшается. Причина уменьшенія скорости движущагося въ средѣ тѣла называется *сопротивленіемъ среды*.

Наблюденія и опыты показываютъ, что:

1) Сопротивленіе возрастаетъ со скоростью движущагося тѣла. Когда движеніе медленно, какъ напримѣръ при колебаніи маятника, то можно допустить, что сопротивленіе пропорціонально скорости; при болѣе быстромъ движеніи, какъ наприм. при свободномъ паденіи тѣла, оно пропорціонально квадрату скорости, а при движеніи артиллерійскаго снаряда—даже болѣе высокой степени, однакожъ менѣе чѣмъ кубу.

2) Сопротивленіе прямо пропорціонально поверхности движущагося тѣла и

3) Тѣмъ меньше, чѣмъ тѣло имѣетъ болѣе заостренную форму.

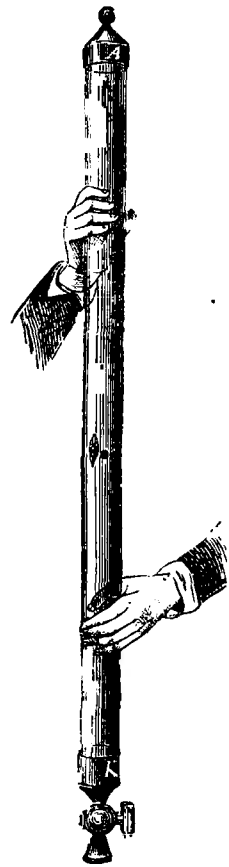
На основаніи послѣдняго закона, киль судовъ дѣлаютъ по возможности острѣе, а бока плоскими, чтобы, по направленію движенія, суда съ наибольшею легкостью преодолѣвали сопротивленіе воды и наиболѣе противились боковому дѣйствію волнъ и вѣтра.

Движеніе тѣлъ отъ дѣйствія силы тяжести.

438. Паденіе въ пустотѣ. *Въ пустомъ пространствѣ всѣ тѣла падаютъ съ одинаковою скоростью.* Въ этомъ законѣ можно убѣдиться непосредственно изъ опыта. Берутъ длинную стеклянную

трубку AK (фиг. 610), закрытую съ обѣихъ сторонъ оправами A и K и заключающую три тѣла: мѣдный шарикъ, кусочекъ пробки и пухъ. Изъ трубки, помощію воздушнаго насоса, чрезъ оправу K, запираемую краномъ, вытягиваютъ воздухъ. Если теперь быстро перевернемъ трубку, поставивъ ее въ вертикальное положеніе, то мѣдный шарикъ, пробка и пухъ упадутъ на другой конецъ трубы въ одно и то же время.

Для объясненія этого явленія, вообразимъ два или болѣе совершенно одинаковые шара въ пустотѣ; они, очевидно, должны падать съ равными скоростями, потому что не видно причины, почему бы одинъ изъ нихъ могъ имѣть бо́льшую скорость, нежели другой. Равнымъ образомъ нельзя допустить, чтобы шаръ, составленный изъ всѣхъ прежнихъ, падалъ скорѣе, или медленнѣе. То же заключеніе, конечно, надо отнести и къ тому случаю, когда тѣла имѣютъ вообще какіе угодно: видъ, плотность и проч. Итакъ, всѣ тѣла въ пустомъ пространствѣ должны падать съ одинаковою скоростью.



Фиг. 610.

То же самое явленіе можно объяснить иначе. Пусть вѣсъ одного тѣла болѣе вѣса другого въ n разъ; хотя сила, приводящая въ движеніе первое тѣло въ n разъ болѣе вѣса второго тѣла, но во столько же разъ будетъ болѣе препятствій со стороны инерціи перваго тѣла, а потому оба тѣла во все время паденія будутъ имѣть равныя скорости.

439. Паденіе тѣлъ въ воздухѣ. Воздухъ оказываетъ сопротивленіе всякому движенію, отъ чего скорость уменьшается, и при томъ не въ одинаковой степени для разныхъ тѣлъ. Наиболѣе замедляются тѣла, имѣющія большую поверхность и малую плотность, а при одинаковыхъ плотностяхъ —тѣла меньшаго вѣса. Въ этомъ убѣждаетъ насъ ежедневный опытъ. Всякій знаетъ, что камень падаетъ быстрѣе пуха. Картонный кружокъ, опущенный ребромъ, падаетъ съ большею скоростью, нежели тотъ же кружокъ, если его плоскость остается параллельною горизонту. Монета скорѣе достигаетъ земли, нежели того же діаметра бумажный кружокъ; но если на монету положить этотъ кружокъ и, держа ихъ горизонтально, предоставить потомъ самимъ себѣ, то оба упадутъ на полъ въ одно время. Большое количество жидкости падаетъ весьма скоро; напротивъ, чрезвычайно малые во-

дяные шарики, изъ которыхъ состоятъ облака и туманъ, также пыль, опускаются весьма медленно, а при слабомъ восходящемъ потокѣ воздуха даже подымаются. Если впустить нѣсколько воздуха въ трубку AK (фиг. 610), открывъ кранъ, то, перевернувъ ее, замѣтимъ, что сначала упадетъ металлическій шарикъ, потомъ пробка и наконецъ пухъ.

Для объясненія этихъ явленій, вообразимъ два шара равныхъ діаметровъ, но разной плотности, напримѣръ одинъ свинцовый вѣса Q, а другой деревянный вѣса P. Хотя шары при паденіи встрѣтятъ равныя сопротивленія со стороны воздуха, потому что ихъ поверхности равны, но скорости уменьшатся неодинаково. Назовемъ чрезъ r сопротивленіе воздуха, дѣйствующее въ сторону противоположную паденію шаровъ; тогда сила, приводящая въ движеніе свинцовый шаръ, выразится чрезъ $Q-r$, а сила, приложенная къ деревянному шару,—чрезъ $P-r$. Пусть Q болѣе P въ n разъ, то есть

$$\frac{Q}{P}=n, \text{ гдѣ } n>1.$$

Изъ алгебры извѣстно, что

$$\frac{Q-r}{P-r}>\frac{Q}{P}:$$

слѣдовательно,

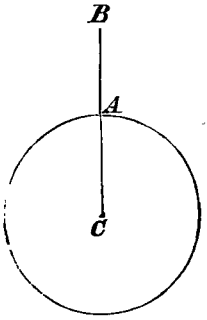
$$\frac{Q-r}{P-r}>n,$$

то есть сила, приложенная къ свинцовому шару, болѣе силы, дѣйствующей на деревянный, въ n разъ слишкомъ, между тѣмъ какъ инерція перваго болѣе инерціи второго—только въ n разъ; поэтому, свинцовый шаръ долженъ падать въ воздухѣ скорѣе деревяннаго. Итакъ, чѣмъ плотность тѣла менѣе, тѣмъ медленнѣе оно должно падать въ воздухѣ.

Вообразимъ теперь два сплошные шара изъ одного и того же вещества: a и A, но разныхъ величинъ; пусть діаметръ второго болѣе діаметра перваго въ k разъ. Назовемъ еще чрезъ p вѣсъ малаго шара a и чрезъ r сопротивленіе, испытываемое имъ со стороны воздуха. Тогда найдемъ, что вѣсъ шара A равенъ k^3p, а сопротивленіе воздуха $= k^2r$. Слѣдовательно, шаръ a приводится въ движеніе силою $p-r$, а шаръ A — силою k^3p-kr^2. Раздѣливъ второе количество на первое, получимъ въ частномъ $k^3+\frac{k^2r(k-1)}{p-r}$. Отсюда видимъ, что сила, приложенная къ шару A, болѣе силы, приложенной къ шару a, слишкомъ въ k^3 разъ, между тѣмъ какъ инерція перваго шара болѣе инерціи второго ровно въ k^3 разъ; иначе сказать: тѣла большихъ размѣровъ, при одной и той же плотности, должны двигаться въ воздухѣ и другихъ срединахъ скорѣе тѣлъ малыхъ размѣровъ. - Сопротивленіе средины обнаруживается только при движеніи; поэтому, всякое тѣло, какъ бы оно ни было мало, лишь бы только было плотнѣе воздуха, должно падать, хотя и медленно; по крайней мѣрѣ, такъ было бы, если бы воздухъ, подобно всякой жидкости, не имѣлъ вязкости; но, вслѣдствіе этого свойства, можно вообразить шаръ столь малыхъ размѣровъ, что онъ не будетъ падать въ воздухѣ.

440. Тяжесть есть сила постоянная. Въ механикѣ доказывается, что земной шаръ притягиваетъ матеріальную частицу, внѣ его

находящуюся, такъ, какъ будто бы притяженіе исходило отъ центра земли, въ которомъ сосредоточена вся ея масса [47]. Это притяженіе и есть тяжесть. При свободномъ паденіи, разстояніе между падающимъ тѣломъ и центромъ земли уменьшается, и, слѣдовательно, притяженіе между ними увеличивается. Такъ какъ высота, съ которой обыкновенно наблюдается паденіе, не превышаетъ 1000 футовъ, то безъ ощутительной погрѣшности можно допустить, что тяжесть во все время паденія тѣла не измѣняется, т. е. *тяжесть есть сила постоянная.*



Фиг. 611.

Для доказательства, вообразимъ двѣ матеріальныя частицы A и B (фиг. 611): одну на поверхности земли, другую въ разстояніи отъ нея на AB. Назовемъ чрезъ F и F_1 силы тяжести въ точкахъ B и A. Чтобы опредѣлить, во сколько разъ F_1 болѣе F, замѣтимъ, что, по закону Ньютона, притяженіе обратно пропорціонально квадрату разстоянія центра земли отъ частицъ A и B. Отсюда получаемъ пропорцію:

$$\frac{F_1}{F} = \frac{CB^2}{CA^2}:$$

или, положивъ AB равнымъ h и обозначивъ радіусъ земли чрезъ r, будемъ имѣть:

$$\frac{F_1}{F} = \frac{(r+h)^2}{r^2},$$

или

$$\frac{F_1}{F} = \left(\frac{r+h}{r}\right)^2 = \left(1+\frac{h}{r}\right)^2 = 1 + \frac{2h}{r} + \frac{h^2}{r^2},$$

$$\text{откуда } F_1 = F + F\left(\frac{2h}{r} + \frac{h^2}{r^2}\right).$$

Изъ этой формулы видимъ, что сила тяжести возрастаетъ по мѣрѣ приближенія падающей частицы къ поверхности земли, хотя весьма медленно. Если $h=1000$ футамъ, то

$$\frac{2h}{r} + \frac{h^2}{r^2} < 0{,}0001,$$

и, слѣдовательно, F_1 отличается отъ F менѣе чѣмъ, на одну десятитысячную долю F.

441. Свободное паденіе тѣла. Такъ какъ тяжесть есть сила постоянная, то свободное паденіе тѣла есть равномѣрно ускоренное движеніе, въ которомъ скорость и пройденное пространство выражаются формулами [435]:

$$v = b + gt$$
$$S = bt + \frac{gt^2}{2},$$

гдѣ подъ g надо разумѣть ускореніе, производимое силою тяжести;

изъ опыта найдено, что оно равно 32,2 фута. Предположимъ, что въ началѣ паденія, тѣло было въ покоѣ; тогда нужно b положить равнымъ нулю, и мы найдемъ:

$$v = gt \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (3)$$

$$S = \frac{gt^2}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (4)$$

Въ этихъ формулахъ содержится 4 величины S, v, g и t; какъ скоро даны двѣ изъ нихъ, прочія двѣ можно вычислить. Если бы наприм. нужно было опредѣлить скорость, пріобрѣтенную тѣломъ къ концу 5-й секунды, и пространство, пройденное впродолженіе 5 секундъ, то получили бы

$$v = 32{,}2 \,.\, 5 = 161 \text{ фут.}$$

$$S = \frac{32{,}2 \,.\, 5^2}{2} = 402{,}5 \text{ фут.}$$

Результатъ $v = 161$ фут. надо понимать такъ: если бы къ концу пятой секунды сила тяжести перестала дѣйствовать, то тѣло начало бы двигаться равномѣрно, проходя каждую послѣдующую секунду по 161 фут.

Разрѣшимъ еще такой вопросъ. Нѣкоторая башня имѣетъ 100 футовъ высоты; камень, опущенный съ ея вершины, достигаетъ основанія въ $2^1/_2$ секунды. Требуется по этимъ условіямъ опредѣлить ускореніе. Подстановивъ на мѣсто величинъ, входящихъ въ формулу (4), имъ равныя, получимъ

$$100 = \frac{g(2^1/_2)^2}{2}, \text{ откуда } g = 32 \text{ фут.}$$

Изъ формулъ (3) и (4) можно получить еще одну формулу, весьма полезную въ приложеніяхъ. Для этого опредѣлимъ t изъ уравненія (3) и подставимъ въ (4); тогда найдемъ:

$$S = \frac{g}{2} \cdot \frac{v^2}{g^2}, \text{ откуда } v = \sqrt{2gS} \ldots\ldots\ldots (5)$$

Положивъ t равнымъ 1 въ равенствахъ (3) и (4), получимъ:

$$g = v \text{ и } S = \frac{g}{2} \ldots\ldots\ldots\ldots (6)$$

Формулы (3), (4) и (6) даютъ слѣдующіе законы свободнаго паденія тѣлъ, найденные Галилеемъ.

1) *Пространство, пройденное свободно падающимъ тѣломъ въ первую секунду, равно половинѣ ускоренія, или половинѣ скорости, пріобрѣтенной тѣломъ къ концу того же времени* (формулы (6)). Такъ какъ ускореніе равно 32,2 фут., то пространство, пробѣгаемое тѣломъ въ первую секунду, составляетъ 16,1 фут.

2) *Скорость, пріобрѣтенная свободно падающимъ тѣломъ*

отъ начала паденія, пропорціональна времени (формула (3)). Подставляя на мѣсто t числа: 1, 2, 3, 4, найдемъ для скорости:

$$g,\ 2g,\ 3g,\ 4g.\ \ldots\ldots\ldots$$

или

$$32{,}2,\ 64{,}4,\ 96{,}6,\ 128{,}8,\ \ldots\ldots\ldots$$

3) *Пространство, пройденное отъ начала паденія, пропорціонально квадрату времени* (формула (4)). Полагая $t=1$, 2, 3, 4, ... , будемъ имѣть:

$$\frac{g}{2},\ 4\cdot\frac{g}{2},\ 9\cdot\frac{g}{2},\ 16\cdot\frac{g}{2},\ \ldots\ldots$$

или

$$16{,}1,\ 64{,}4,\ 144{,}9,\ 257{,}6,\ \ldots\ldots$$

Эти законы справедливы только для пустого пространства; сопротивленіе воздуха уменьшаетъ въ большей или меньшей степени скорость и. слѣдовательно, пространства, пробѣгаемыя тѣломъ.

Повѣрить законы свободнаго паденія тѣла непосредственнымъ наблюденіемъ весьма затруднительно, по причинѣ большой скорости падающаго тѣла. Машина Атвуда и наклонная плоскость, замедляя движеніе, даютъ возможность оправдать законы Галилея на опытѣ.

442. Машина Атвуда. Машина Атвуда изображена на фигурахъ 612 и 613: первая представляетъ всю машину, вторая — только верхнюю ея часть, въ увеличенномъ размѣрѣ. H изображаетъ вертикальную шкалу, на которую нанесены единицы длины, наприм. дюймы; нумерація дѣленій идетъ сверху внизъ, отъ точки n. На вершинѣ столба A вращается, съ малымъ треніемъ, колесо B. Въ углубленіи, сдѣланномъ въ окружности колеса, лежитъ снурокъ, къ концамъ котораго привѣшены равныя, и потому взаимно уравновѣшивающіяся, гирьки x и y. Если сообщить одной изъ нихъ толчекъ по вертикальному направленію, то онѣ придутъ въ движеніе, при чемъ одна будетъ подыматься, а другая опускаться. Это движеніе было бы равномѣрное, если бы можно было устранить препятствія: треніе оси колеса о подставки, сопротивленіе воздуха и несовершенную гибкость нити. Если на одну изъ гирь x положимъ металлическую пластинку m, то эта гиря станетъ падать ускореннымъ движеніемъ и приведетъ въ такое же движеніе другую гирю y. Вѣсъ пластинки m, заставляя падать самую пластинку, долженъ преодолѣть инерцію не только ея собственной массы, но и инерцію гирь x и y, между тѣмъ какъ при свободномъ паденіи та же сила встрѣчаетъ сопротивленіе только со стороны инерціи одной пластинки m. Слѣдовательно, паденіе тѣла на атвудовой машинѣ, хотя будетъ равномѣрно ускоренное, подобно свободному паденію, но медленнѣе послѣд-

няго; ускореніе его должно быть во столько разъ менѣе, чѣмъ при свободномъ паденіи, во сколько масса одной пластинки m менѣе суммы массъ гирь x и y и этой пластинки. Отношеніе массъ можно замѣнить отношеніемъ вѣсовъ. Поэтому, назвавъ вѣсъ пластинки m чрезъ p, вѣсъ каждой изъ гирь—чрезъ q, ускореніе при свободномъ паденіи—чрезъ g и ускореніе при паденіи на атвудовой машинѣ — чрезъ a, получимъ:

$$\frac{a}{g}=\frac{p}{2q+p}, \text{ откуда } a=g\cdot\frac{p}{2q+p}.$$

По этой формулѣ въ каждомъ частномъ случаѣ можно вычислить величину a. Пусть наприм. $p=25$ граммамъ, $q=229$ грам. и $g=32,2$ фута; тогда

$$a=32,2\cdot\frac{25}{2.229+25}=20 \text{ дюйм.}$$

Замѣнивъ въ формулахъ (3) и (4) g на a, найдемъ:

$$v=at,\ S=\frac{at^2}{2}.$$

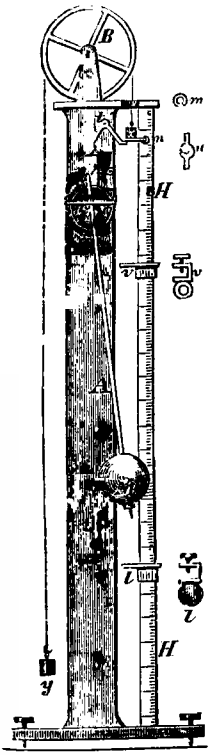
Подставляя на мѣсто t числа: 1, 2, 3, 4, ... , а на мѣсто a его величину 20, будемъ имѣть:

$$v=20,\ 40,\ 60,\ 80,\ \ldots\ldots$$
$$S=10,\ 40,\ 90,\ 160,\ \ldots\ldots,$$

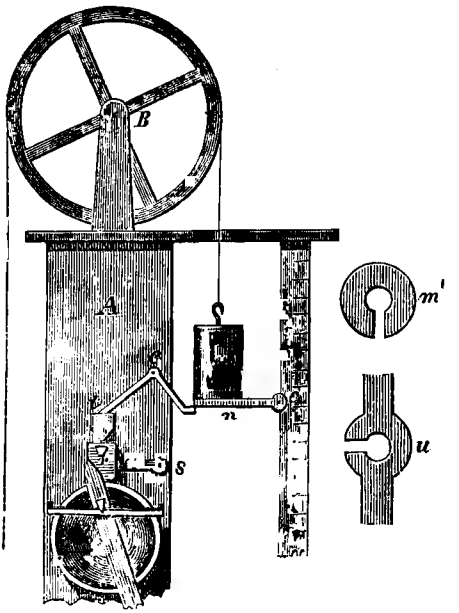
то есть въ первую секунду гирька x должна пробѣжать 10 дюйм., и въ концѣ этой секунды будетъ имѣть скорость 20 дюйм.; въ двѣ первыя секунды гирька x пробѣжитъ 40 дюйм., и въ концѣ 2-й секунды будетъ имѣть скорость 40 дюйм. и т. д. Чтобы повѣрить законъ пространствъ, гирю x съ прибавочнымъ грузомъ m подымаютъ и ставятъ противъ нуля шкалы, на пластинку n. Эта пластинка вращается около точки c и поддерживается въ горизонтальномъ положеніи ломанымъ рычагомъ te, котораго точка опоры въ e. Затѣмъ, на шкалѣ, противъ цифры 10, закрѣпляютъ винтомъ скобку съ пластинкой l. Потомъ, отводятъ маятникъ M изъ отвѣснаго положенія и предоставляютъ его самому себѣ. При движеніи маятника, верхній конецъ его приподыметъ молотокъ r, вращающійся на стержнѣ rS, около неподвижной точки S, и, такимъ образомъ, повернетъ ломаный рычагъ te около точки опоры e; тогда пластинка n, не поддерживаемая рычагомъ, приметъ отвѣсное положеніе, и гирька x станетъ падать какъ разъ въ то самое мгновеніе, какъ маятникъ окончитъ первое колебаніе. При началѣ каждаго качанія маятника, молотокъ r подымается и тотчасъ же, падая, снова ударяется въ колокольчикъ d. Первый ударъ происходитъ при началѣ паденія гири, или въ концѣ перваго колебанія маятника; второй, если установка была вѣрна, совпадаетъ съ ударомъ гири на пластинку l. —

Затѣмъ, приводятъ гирьку x съ грузомъ m къ нулю шкалы, а пластинку l утверждаютъ противъ 40. Гирька x пробѣжитъ это пространство въ 2 секунды и ударится о пластинку l при третьемъ ударѣ молотка. И т. д.

Для повѣрки закона скоростей, прибавочному грузу даютъ видъ u, а къ другой скобкѣ прикрѣпляютъ кольцо v, чрезъ которое гиря свободно проходитъ, а пластинка u задерживается. Гирю x съ такой пластинкой помѣщаютъ на дощечку n, а кольцо v утверждаютъ въ разстояніи 10 дюймовъ отъ прибавочнаго груза. Въ концѣ первой секунды, гиря x пройдетъ чрезъ кольцо v, оставивъ на немъ пластинку u, и будетъ потомъ двигаться только вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости. слѣдовательно, равномѣрно; поэтому, на основаніи



Фиг. 612.

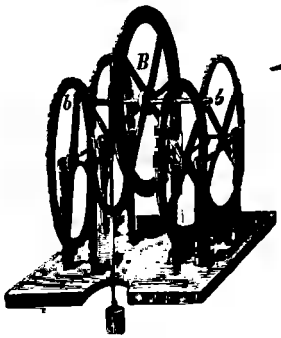


Фиг. 613.

перваго закона Галилея, она должна пройти во вторую секунду 20 дюймовъ. Отставивъ скобку l ниже кольца v на 20 дюйм., мы должны услышать ударъ гири въ пластинку l въ концѣ второй секунды. Если помѣстимъ кольцо v въ разстояніи 40 дюймовъ отъ прибавочнаго груза u, то гиря x достигнетъ кольца v чрезъ 2 секунды; пройдя чрезъ него и оставивъ тамъ пластинку u, она должна пробѣжать въ третью секунду 40 дюймовъ. И т. д.

Повѣрка законовъ свободнаго паденія тѣлъ на атвудовой машинѣ не вполнѣ удовлетворительна; обыкновенно гиря нѣсколько запаздываетъ. Это должно приписать сопротивленію воздуха, несовершенной гибкости нити, тренію оси колеса о подставки и его инерціи. Повѣрка идетъ несравненно правильнѣе, если количество a не вычисляется по даннымъ величинамъ p и q, а опредѣляется непосредственно изъ опыта. Положивъ прибавочный грузъ на гирьку x, отодвигаютъ пластинку l на такое разстояніе, чтобы гирька x пробѣгала его въ цѣлое число секундъ, наприм. въ 3 сек. Это выполняется весьма легко и скоро, послѣ нѣсколькихъ пробъ, подымая и опуская пластинку l. Затѣмъ, число, стоящее на шкалѣ противъ пластинки l, надо раздѣлить на 9 (вообще на t^2). Умноживъ полученное частное на 2, найдемъ a, ускореніе падающаго тѣла на машинѣ Атвуда.

Для уменьшенія тренія, ось колеса B кладутъ не на подставки, а на двѣ пары другихъ колесъ b (фиг. 614). Тогда вліяніе тренія на движеніе гирь, если не принимать во вниманіе инерціи колесъ b, будетъ уменьшено въ отношеніи радіусовъ этихъ колесъ къ радіусамъ ихъ осей; треніе 2-го рода, въ точкахъ соприкосновенія оси колеса B съ колесами b, ничтожно.



Фиг. 614.

443. Движеніе по наклонной плоскости. Вообразимъ наклонную плоскость (фиг. 615), которой основаніе горизонтально, и на которой лежитъ шаръ M вѣса Q. Несвободное [16] движеніе шара, легко привести къ свободному. Назвавъ длину наклонной плоскости чрезъ l, а высоту — чрезъ h, разложимъ силу вѣса тѣла на двѣ: перпендикулярную и параллельную длинѣ. Первая уничтожится сопротивленіемъ наклонной плоскости; вторая, которую мы назовемъ чрезъ P, опредѣлится изъ пропорціи:

$$\frac{P}{Q} = \frac{h}{l}. \qquad (P)$$

откуда

$$P = Q.\frac{h}{l}.$$

Такимъ образомъ, мы можемъ теперь разсматривать шаръ M, какъ совершенно свободное тѣло, приводимое въ движеніе силою P. Величины l и h для одной и той же наклонной плоскости постоянны во все время движенія, а потому и сила P постоянна; слѣдовательно, тѣло M будетъ имѣть движеніе равномѣрно ускоренное, опредѣляемое формулами (1), (2), (3) и (4) [435, 441].

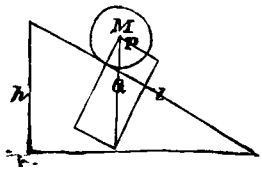
Такъ какъ ускореніе пропорціонально силѣ, то, назвавъ чрезъ a ускореніе силы, параллельной длинѣ наклонной плоскости, и чрезъ g ускореніе силы тяжести, будемъ имѣть:

$$\frac{a}{g}=\frac{P}{Q};$$

или, сравнивъ съ пропорціею (P),

$$\frac{a}{g}=\frac{h}{l}, \text{ откуда}$$

$$a=g\frac{h}{l} \quad . \; . \; . \; . \; (7)$$

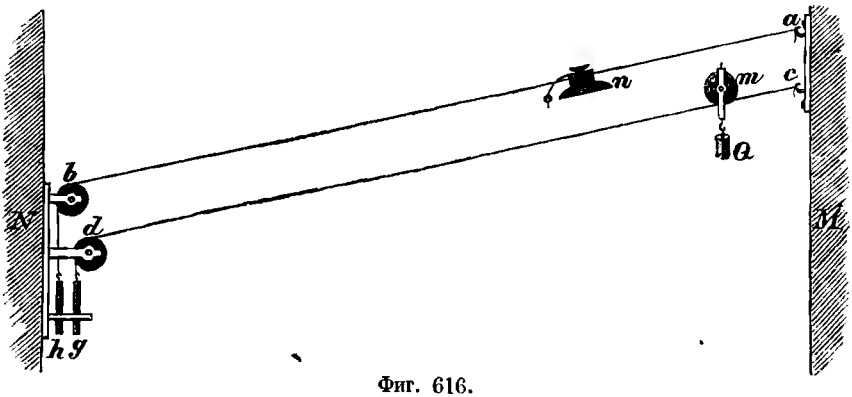


Фиг. 615.

Полагая въ формулахъ (3) и (4) g равнымъ a, найдемъ:

$$v=at, \quad S=a.\frac{t^2}{2}$$

гдѣ a опредѣляется по формулѣ (7). Если напримѣръ высота наклонной плоскости составляетъ десятую часть длины, то $a=3{,}22$ фута. Для повѣрки закона пространствъ на наклонной плоскости, натягиваютъ наклонно двѣ параллельныя проволоки cd (фиг. 616) и ab, между двумя стѣнами M и N, а грузъ Q прикрѣпляютъ къ оси блока m, который опирается углубленіемъ, сдѣланнымъ на его окружности, на проволоку cd. Обѣ проволоки натягиваютъ гирями h и g, или винтами. Посредствомъ секунднаго маятника, замѣчаютъ время, протекшее отъ начала движенія до того мгновенія, когда блокъ m ударитъ въ колокольчикъ n, который можно укрѣпить на всякомъ мѣстѣ проволоки ab. Пространство, пройденное тѣломъ Q, измѣряется длиною проволоки отъ точки a до колокольчика.



Фиг. 616.

Изъ формулы (5) получаемъ, чрезъ замѣненіе g на a:

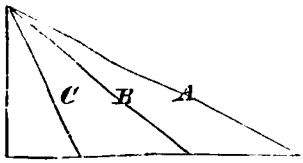
$$v=\sqrt{2aS}.$$

Поставивъ $g\frac{h}{l}$ на мѣсто a, и l на мѣсто S, найдемъ:

$$v=\sqrt{2g\frac{h}{l}\cdot l}=\sqrt{2gh} \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (8)$$

Сравнивая эту формулу съ (5), видимъ, что скорость тѣла, движущагося по наклонной плоскости, не зависитъ отъ ея наклона и равна той скорости, которую тѣло пріобрѣтаетъ, когда падаетъ отвѣсно съ высоты, равной высотѣ

наклонной плоскости. Если наприм., имѣемъ нѣсколько наклонныхъ плоскостей A, B, C (фиг. 617) равной высоты, то, по какой бы изъ нихъ тѣло ни двигалось, пріобрѣтенная скорость, когда тѣло достигаетъ основанія, будетъ во всѣхъ случаяхъ одна и та же. Это свойство, принадлежащее не только плоскостямъ, но всякой поверхности, имѣетъ приложеніе въ катальныхъ ледяныхъ горахъ: скорость при спускѣ съ горы не зависитъ отъ кривизны горы, а только отъ высоты.



Фиг. 617.

444. Движеніе тѣла, брошеннаго снизу вверхъ по вертикальному направленію. Пусть снизу вверхъ бросили тѣло со скоростью c. Въ этомъ случаѣ, сила тяжести будетъ уменьшать первоначальную скорость; по прошествіи нѣкотораго времени, тѣло на мгновеніе остановится и потомъ станемъ падать. Требуется опредѣлить высоту, на которую тѣло подымется, время наибольшей высоты и скорость при паденіи на землю. Формулы, сюда относящіяся, можно вывести изъ (1) и (2) [435], замѣнивъ b на c, а g на $-g$, такъ какъ сила тяжести дѣйствуетъ въ сторону, противоположную движенію. Такимъ образомъ, найдемъ формулы:

$$v=c-gt,\ S=ct-\frac{gt^2}{2},$$

по которымъ можно вычислить скорость и пройденное пространство для даннаго времени t. Когда тѣло достигнетъ наибольшей высоты, то v будетъ равно нулю, а потому

$$c-gt=O,\ \text{откуда}\ t=\frac{c}{g}\ , \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (9)$$

что даетъ время поднятія на наибольшую высоту. Подставивъ въ выраженіе

$$S=ct-g\frac{t^2}{2}$$

на мѣсто t его величину изъ уравненія (9), получимъ наибольшую высоту, до которой брошенное тѣло можетъ подняться:

$$S=c\frac{c}{g}-g\frac{c^2}{2g^2},\ \text{или}\ S=\frac{c^2}{2g}. \quad . \ . \ . \ . \ . \ . \ . \quad (10)$$

Затѣмъ, тѣло падаетъ движеніемъ, опредѣляемымъ формулами (3), (4) и (5), какъ всякое свободно падающее тѣло. Чтобы найти скорость при паденіи на землю, надо въ (5) формулѣ на мѣсто S подставить его величину изъ равенства (10). Тогда получимъ

$$v=\sqrt{2g\cdot\frac{c^2}{2g}}=c,$$

то есть тѣло, по достиженіи земли, имѣетъ такую же скорость, съ какою было брошено.

Назвавъ чрезъ T время, употребляемое тѣломъ, чтобы пробѣжать пространство съ наибольшей высоты до поверхности земли, будемъ имѣть изъ равенства (3)

$$v = gT,$$

откуда, замѣчая, что $v=c$, найдемъ:

$$T = \frac{c}{g}$$

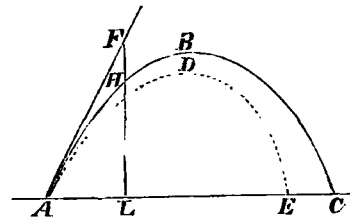
Сравнивъ послѣднее равенство съ выраженіемъ (9), заключаемъ, что

$$T=t,$$

то есть время поднятія тѣла равно времени паденія.

Всѣ выведенныя заключенія относятся къ движенію въ пустотѣ; въ воздухѣ явленіе совершается нѣсколько иначе. Встрѣчая сопротивленіе, тѣло быстрѣе теряетъ свою скорость и достигаетъ меньшей высоты и въ меньшее время, нежели даютъ формулы (9) и (10).

445. Движеніе тѣла, брошеннаго наклонно къ горизонту. Когда тѣло брошено по направленію AF (фиг. 618) наклонно къ горизонту AC, то сила тяжести заставляетъ тѣло отступать отъ направленія первоначальной скорости AF и двигаться по кривой ABC, которой выпуклость обращена вверхъ. Въ механикѣ доказывается, что эта кривая, когда тѣло движется въ пустотѣ, есть парабола. Въ воздухѣ кривая имѣетъ видъ ADE.



Фиг. 618.

Кромѣ рода кривой, нѣкоторый интересъ представляютъ еще вопросы: на какомъ разстояніи и на какой высотѣ тѣло находится въ данное мгновеніе, и какъ далеко падаетъ отъ того мѣста, изъ котораго его бросили. Пусть направленіе скорости, которой величину обозначимъ чрезъ c, совпадаетъ съ прямою AE (фиг 619). Раздѣлимъ секунду на n элементовъ времени. Въ началѣ перваго элемента, тѣло получаетъ толчекъ отъ силы тяжести по отвѣсному направленію. Назовемъ чрезъ p скорость, пріобрѣтаемую тѣломъ отъ одного такого толчка. Отъ силы верженія, тѣло должно было бы пройти въ первый элементъ времени пространство $\frac{c}{n}$, а отъ силы тяжести $\frac{p}{n}$. Отложивъ линіи $AB=\frac{c}{n}$ и $Aa=\frac{n}{p}$ и построивъ на нихъ параллелограмъ, найдемъ, что къ концу перваго элемента тѣло придетъ въ точку b, на конецъ діагонали Ab. Если бы дѣйствіе силы тяжести прекратилось, то тѣло прошло бы во второй элементъ времени линію be, равную Ab, но, получивъ отъ силы тяжести такой же толчекъ, какъ въ началѣ перваго элемента, пойдетъ по діагонали bf параллелограмма, построеннаго на линіяхъ be и $bd=\frac{p}{n}$. Продол-

жая подобныя сужденія далѣе, мы получимъ ломаную линію $Abfmpv$, которая, при уменьшеніи элементовъ времени до безконечности, обратится въ кривую. Продолживъ діагонали Ab, bf, fm,... и проведя чрезъ концы ихъ отвѣсныя линіи BB_1, CC_1, DD_1, EE_1,... можно опредѣлить части этихъ отвѣсныхъ Bb, Cf, Dm, Ep между кривою и направленіемъ AE первоначальной скорости. Для этого замѣтимъ, что $Bb = Aa = \frac{p}{n}$. Линія Cf состоитъ изъ двухъ частей: ef и Ce; изъ нихъ первая ef равна $\frac{p}{n}$. Изъ подобія треугольниковъ ACe и ABb:

$$\frac{Ce}{Bb} = \frac{Ae}{Ab}.$$

Но какъ, по построенію, Ae вдвое болѣе Ab, то

$$Ce = 2Bb = 2\frac{p}{n}.$$

Слѣдовательно,

$$Cf = ef + Ce = 3\frac{p}{n}.$$

Далѣе,

$$Dm = sm + us + Du,$$

гдѣ

$$sm = \frac{p}{n}. \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (a)$$

Изъ подобія треугольниковъ bsu и bfe,

$$\frac{us}{ef} = \frac{bs}{bf} = \frac{bu}{be}. \text{ Но какъ } \frac{bs}{bf} = 2, \text{ то}$$

$$us = 2\,ef \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (b)$$
$$bu = 2\,be.$$

Послѣднее равенство даетъ

$$be = eu \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (c)$$

Изъ подобія треугольниковъ AuD и AbB, принимая во вниманіе равенство (c), найдемъ,

$$Du = 3\frac{p}{n} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (e)$$

Сложивъ равенства (a), (b) и (e), получимъ:

$$Dm = \frac{p}{n} + 2\frac{p}{n} + 3\frac{p}{n}, \text{ откуда } Dm = 6\frac{p}{n}.$$

Разложивъ Ep на zp, xz, yx и Ey и поступая подобно предыдущему, найдемъ:

$$Ep = \frac{p}{n} + 2\frac{p}{n} + 3\frac{p}{n} + 4\frac{p}{n} = 10\frac{p}{n}.$$

Вообще для конца времени t или для nt-го элемента, найдемъ, что FH (фиг. 618), длина отвѣсной линіи между кривой ABC и направленіемъ начальной скорости AF, выразится такъ:

$$FH = \frac{p}{n} + 2\frac{p}{n} + 3\frac{p}{n} + \ldots + nt \cdot \frac{p}{n},$$

или

$$FH = \frac{p}{n} \cdot \frac{1+nt}{2} \cdot nt = \left(\frac{1}{n} + t\right)\frac{npt}{2}.$$

Замѣчая, что np равно g, ускоренію при свободномъ паденіи тѣла, и что n равно безконечно большому числу, получимъ:

$$FH = \frac{gt^2}{2}.$$

Теперь уже не трудно опредѣлить величину линіи HL, то есть, разстояніе какой ни есть точки параболы отъ горизонтальной плоскости AC, проходящей чрезъ точку A, изъ которой тѣло было брошено.

Изъ равенства линій Ab и be (фиг. 619) выходитъ, что AB равно BC; по равенству bf и fs заключаемъ о равенствѣ BC и CD; равенство fm и mz приводитъ къ равенству CD и DE, и т. д. Отсюда получаемъ рядъ:

$$AB=BC=CD=...,$$

изъ котораго видимъ, что, для опредѣленія линіи AF (фиг. 618), нужно умножить $\frac{c}{n}$ на число элементовъ времени въ t секундахъ. Слѣдовательно,

$$AF = \frac{c}{n}\, nt = ct.$$

Изъ треугольника AFL, обозначивъ уголъ FAL чрезъ k, находимъ:

$$FL = ct \operatorname{Sin} k,$$

а потому, назвавъ HL чрезъ h, получимъ:

$$h = FL - FH = ct \operatorname{Sin} k - \frac{gt^2}{2} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (h)$$

Изъ того же треугольника FAL, полагая $AL=l$, будемъ имѣть:

$$l = ct \operatorname{Cos} k \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (l)$$

Когда тѣло упадетъ на землю, то h сдѣлается равнымъ нулю, а потому

$$ct \operatorname{Sin} k - \frac{gt^2}{2} = 0, \text{ откуда}$$

$$t = \frac{2c \operatorname{Sin} k}{g} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (t)$$

По этому уравненію можно вычислить время паденія на землю. Такъ, если $c=1000$ ф., $k=30^\circ$, то t приблизительно равно 31 секун.

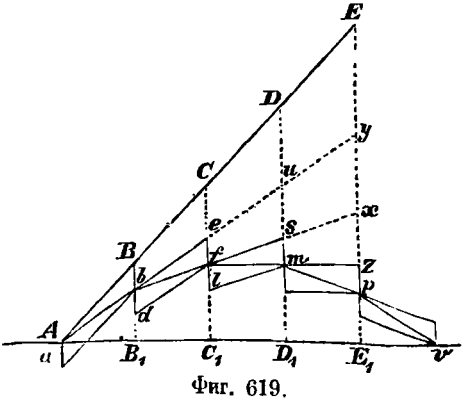
Подставивъ въ равенство (l) на мѣсто t его величину изъ (t), получимъ:

$$l = c\,\frac{2c \operatorname{Sin} k}{g}.\ \operatorname{Cos} k = \frac{c^2}{g} \operatorname{Sin} 2k, \quad . \; . \; . \; . \; . \quad (k)$$

откуда можно опредѣлить, на какомъ разстояніи отъ мѣста верженія тѣло упадетъ на землю. Это разстояніе называется *дальностью полета*. Такъ какъ синусъ получаетъ самое большое значеніе при углѣ въ 90°, то полагая въ равенствѣ (k) уголъ $k=45^\circ$, найдемъ

$$l = \frac{c^2}{g}:$$

это выражаетъ наибольшую величину дальности полета. Слѣдовательно, тѣло отлетаетъ на наи-



Фиг. 619.

*

большее разстояніе, когда направленіе скорости верженія составляетъ съ горизонтомъ уголъ въ 45°.

Опредѣлимъ еще наибольшую высоту, до которой брошенное тѣло достигаетъ во время полета. Для этого нужно по формулѣ (h) найти наибольшее значеніе h при измѣненіи t. По извѣстнымъ правиламъ алгебры для розысканія наибольшихъ и наименьшихъ величинъ, помощію уравненія 2-й степени, находимъ изъ выраженія (h):

$$t = \frac{c \operatorname{Sin} k \pm \sqrt{c^2 \operatorname{Sin}^2 k - 2gh}}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (g)$$

Количество h можетъ возрастать только до тѣхъ поръ, пока $c^2 \operatorname{Sin}^2 k - 2gh$ менѣе, или равно нулю, ибо въ противномъ случаѣ величина t сдѣлалась бы мнимою. Слѣдовательно, наибольшее значеніе h опредѣляется изъ уравненія:

$$c^2 \operatorname{Sin}^2 k - 2gh = 0,$$

откуда

$$h = \frac{c^2 \operatorname{Sin}^2 k}{2g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (m)$$

Въ то же время изъ уравненія (g) имѣемъ:

$$t = \frac{c \operatorname{Sin} k}{g} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (n$$

Уравненіе (m) служитъ для опредѣленія наибольшей высоты полета тѣла, а формула (n)—времени, когда это случится.

Маятникъ.

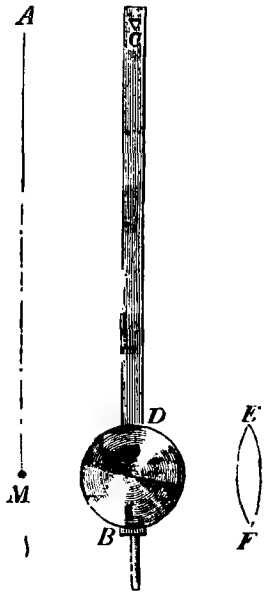
446. Маятникъ. Различаютъ два рода маятниковъ; *математическій* и *физическій*. Математическій или воображаемый маятникъ состоитъ (фиг. 620) изъ нити AM, которой одинъ конецъ укрѣпленъ неподвижно въ точкѣ A, а на другомъ находится матеріальная частица M. Для простоты разсмотрѣнія допускаютъ, что нить не имѣетъ никакого вѣса. Физическій маятникъ есть металлическій стержень CD, свободно вращающійся на остріѣ призмы C; къ нижнему концу его придѣлано чечевицеобразное тѣло DB, которое въ разрѣзѣ имѣетъ видъ EF.

Математическій маятникъ. Разсмотримъ сначала маятникъ воображаемый. Если въ тѣлѣ есть неподвижная точка, то тѣло будетъ въ равновѣсіи, когда эта точка и центръ тяжести находятся на одной отвѣсной линіи [50]; поэтому, маятникъ въ равновѣсіи долженъ имѣть отвѣсное положеніе AM (фиг. 621). Отклонимъ теперь его отъ этого положенія въ AN. Назвавъ чрезъ p вѣсъ частицы M и изобразивъ его отвѣсною линіею NL, разложимъ на двѣ силы: одну по направленію нити NK, другую q по направленію перпендикулярному NI. Первая уничтожится сопротивленіемъ нити, вторая заставитъ маятникъ приближаться къ отвѣсному положенію. Величину силы q можно

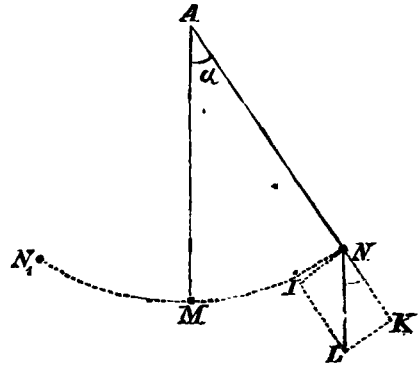
найти изъ треугольника NLK. Замѣчая, что уголъ MAN, который мы обозначимъ чрезъ α, равенъ $\angle LNK$, получимъ:

$$\text{Sin}\ \alpha = \frac{LK}{LN} = \frac{q}{p}, \text{ откуда } q = p\ \text{Sin}\ \alpha.$$

Такимъ образомъ, сила q, приводящая въ движеніе матеріальную частицу, равна вѣсу частицы, умноженному на синусъ угла отклоненія маятника; съ уменьшеніемъ α уменьшается также q и обращается въ нуль, когда α нуль. Слѣдовательно, сила q не постоянна. Отъ дѣйствія ея, маятникъ приближается ускорительнымъ движеніемъ къ отвѣсному положенію AM. Хотя здѣсь сила q равна нулю, однакожъ маятникъ не останавливается, но, вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости, продолжаетъ свое движеніе по другую сторону отвѣсной линіи AM. Теперь сила q начинаетъ дѣйствовать въ противную сторону, стараясь остановить маятникъ. Чрезъ это скорость умень-



Фиг. 620.



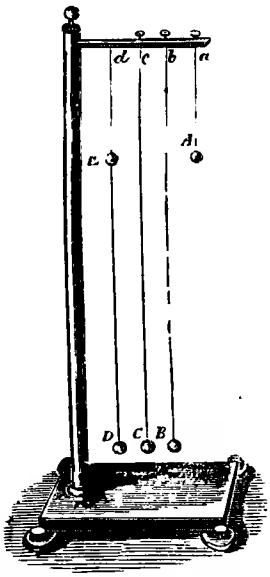
Фиг. 621.

шается, и какъ разъ въ томъ самомъ порядкѣ, въ какомъ она прежде увеличивалась, потому что сила q при одинаковыхъ углахъ отклоненія маятника по обѣ стороны отвѣсной линіи имѣетъ одну и ту же величину. Отсюда выходитъ, что маятникъ остановится въ N_1, пройдя дугу MN_1, равную дугѣ MN, и употребитъ одинаковыя времена, чтобы пробѣжать эти дуги. Отъ N_1, маятникъ устремится къ M, перейдетъ это положеніе, подымется до N, станетъ двигаться назадъ, снова дойдетъ до N_1 и такимъ образомъ будетъ двигаться до безконечности. Движенія маятника впередъ и назадъ называются *колебаніями*; время, употребляемое частицею M, чтобы описать дугу NMN_1, называется *временемъ колебанія*, дуга NMN_1,—*размахомъ*, AM—*длиною* маятника.

Въ практикѣ существуетъ только физическіе маятники. Вмѣсто же математическихъ маятниковъ, берутъ каменные или металлическіе шары A, B, C, D (фиг. 622), привѣшенные на тонкихъ нитяхъ, вѣсомъ которыхъ можно пренеберечь.

447. Законы колебаній математическаго маятника. Разсмотримъ, какъ зависитъ время одного колебанія математическаго маятника отъ массы матеріальной частицы, длины маятника, угла отклоненія и силы тяжести. Другихъ обстоятельствъ, какъ гибкости нити, сопротивленія воздуха, мы разбирать не будемъ.

Взявъ маятники одинаковой длины, но съ шарами разнаго вѣса B и C (фиг. 622) и отклонивъ ихъ на одинъ и тотъ же уголъ, найдемъ, что времена ихъ колебанія равны. Слѣдовательно,

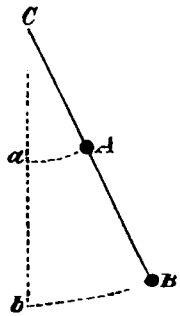


Фиг. 622.

1) *Время колебанія маятника не зависитъ отъ массы матеріальной частицы.* Для объясненія этого закона замѣтимъ, что, хотя сила p Sinα, приводящая шары B и C въ движеніе, для того изъ нихъ болѣе, котораго масса болѣе, но зато и инерція его во столько же разъ болѣе.

Заставляя качаться маятники Aa и Bb разной длины, нашли, что

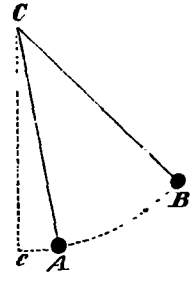
2) *Время колебанія прямо пропорціонально корню квадратному изъ длины маятника*, т. е. съ увеличиваніемъ длины въ 4 раза, 9, 16 и т. д., время колебанія возрастаетъ соотвѣтственно: въ 2 раза, 3, 4 и т. д. Помощію элементарной математики, объясненіе этого закона было бы затруднительно, однакожъ можно понять, по крайней мѣрѣ, что съ удлиненіемъ маятника время колебанія должно увеличиться. Вообразимъ два маятника CA и CB (фиг. 623) съ матеріальными частицами A и B одинаковаго вѣса p, отклоненные отъ отвѣсной линіи на одинъ и тотъ же уголъ. Сила q, равная p Sinα, будетъ для обоихъ шаровъ одна и та же; но какъ дуга Bb, которую пробѣгаетъ частица B, болѣе дуги Aa, то и время колебанія маятника CB должно быть болѣе времени колебанія маятника CA.



Фиг. 623.

Отклоняя одинаковые маятники на разные углы придемъ къ заключенію, что

3) *При небольшихъ углахъ отклоненія, не превышающихъ 5°, время колебанія маятника почти не зависитъ отъ величины этихъ угловъ*, то есть, отклоненъ ли маятникъ на $^1/_2{}^0$, или на 4^0, время его колебанія то же самое; но при большихъ углахъ время колебанія замѣтно возрастаетъ съ увеличеніемъ угла. Чтобы понять это, отклонимъ два одинаковые маятника CA и CB (фиг. 624) на разные углы отъ отвѣсной линіи Cc, одинъ напр. на $^1/_2{}^0$, другой на 4^0. Сила q для перваго маятника будетъ менѣе, чѣмъ для второго, а потому и скорость его движенія будетъ также менѣе, но зато дуга cA, которую онъ долженъ описать, менѣе дуги cB. Изъ этого, конечно, не выходитъ приведенный сейчасъ законъ; по крайней мѣрѣ, мы видимъ, что здѣсь двѣ причины дѣйствуютъ въ противныя стороны: одна уменьшаетъ время колебанія, между тѣмъ какъ другая увеличиваетъ.



Фиг. 624.

Вывести изъ опыта вліяніе силы тяжести на качаніе маятника мы не имѣемъ возможности, потому что не умѣемъ измѣнять величину этой силы. Но не трудно видѣть, не прибѣгая къ опыту, что время колебанія маятника должно уменьшаться съ увеличиваніемъ силы тяжести. Въ самомъ дѣлѣ, если увеличится сила тяжести. то увеличится и вѣсъ матеріальной частицы, находящейся на концѣ маятника, а вмѣстѣ съ тѣмъ сила p Sinα. Чрезъ это, скорость сдѣлается болѣе, а, слѣдовательно, время колебанія уменьшится.

Болѣе точныя математическія изысканія убѣждаютъ насъ, что

4) *Время колебанія маятника обратно пропорціонально квадратному корню изъ силы тяжести*, то есть, съ увеличиваніемъ силы тяжести въ 4, 9, 16 разъ и т. д., время колебанія уменьшается въ 2, 3, 4 раза и т. д. Извѣстно, что тяжесть на лунѣ въ 6 разъ меньше, а та же сила на солнцѣ—въ 28 разъ болѣе тяжести на землѣ; маятникъ, перенесенный съ земли на луну, будетъ колебаться медленнѣе почти въ $2^1/_2$ раза, а на солнце—въ 5 слишкомъ разъ скорѣе.

Механика даетъ слѣдующее выраженіе для времени колебанія маятника при небольшихъ размахахъ:

$$t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\left(1+\frac{1}{16}\left(\frac{m}{l}\right)^2+\ .\ .\ .\ .\ .\right),$$

гдѣ t есть время колебанія, π—отношеніе окружности къ діаметру, l—длина маятника, g—ускореніе при свободномъ паденіи тѣла и m длина дуги MN (фиг. 621), равная половинѣ размаха NMN_1. Количество, стоящее въ скобкахъ, имѣетъ безчисленное множество членовъ, но которыми, при небольшихъ размахахъ, можно пренебречь, начиная съ третьяго, по причинѣ ихъ малости.

Эта формула заключаетъ въ себѣ всѣ законы колебанія маятника. Изъ

нея видно, что время колебанія не зависитъ отъ вѣса матеріальной частицы. прямо пропорціонально корню квадратному изъ длины и обратно пропорціонально квадратному корню изъ ускоренія свободно падающаго тѣла, и что, съ увеличиваніемъ угла отклоненія маятника отъ отвѣснаго положенія, увеличивается также m, а, слѣдовательно, и t, хотя въ незначительной степени. Наконецъ, при весьма малыхъ углахъ отклоненія, всѣ члены, начиная со второго, будутъчрезвычайно малы; тогда получимъ формулу:

$$t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}},$$

изъ которой видно, что, при весьма малыхъ углахъ отклоненія, время колебанія отъ угла не зависитъ.

448 Физическій маятникъ. Всякій физическій маятникъ AB (фиг. 625) можно представить состоящимъ изъ безчисленнаго множества математическихъ маятниковъ: Am, An, Ap, Aq, которыхъ точка привѣса совпадаетъ съ A, ребромъ призмы, а на концахъ—матеріальныя частицы m, n, p, q, составляющія физическій маятникъ. Всѣ эти маятники стремятся колебаться тѣмъ быстрѣе, чѣмъ они короче. то есть чѣмъ матеріальныя частицы ближе къ точкѣ A. Отъ этого, происходитъ, что верхнія частицы ускоряютъ движеніе нижнихъ, а нижнія, напротивъ, замедляютъ движеніе верхнихъ. Очевидно, въ маятникѣ можно найти такую точку O, для которой ускореніе верхнихъ частицъ и замедленіе нижнихъ одинаковы. Эта точка, называемая *центромъ качанія*, будетъ двигаться совершенно такъ же, какъ если бы она была одна. Итакъ, физическій маятникъ AB колеблется какъ математическій CM, котораго длина равна линіи AO, разстоянію между точкой привѣса A и центромъ качанія O.

Фиг. 625.

Справедливость этихъ сужденій можно подтвердить опытомъ. Если взять два одинаковыхъ маятника aA и dE (фиг. 622) и къ одному изъ нихъ E привѣсить еще шаръ D, то послѣдній станетъ замедлять движеніе шара E, такъ что сложный маятникъ dED будетъ колебаться медленнѣе простого aA. Напротивъ, изъ двухъ маятниковъ dD и cC равной длины, первый будетъ колебаться скорѣе, если между точкой опоры d и шаромъ D укрѣпитъ шаръ E, который ускоритъ движеніе шара D.

Хотя по теоріи маятникъ долженъ колебаться вѣчно, но треніе оси о подставку и сопротивленіе воздуха уменьшаютъ постепенно скорость маятника и, наконецъ, совершенно его останавливаютъ. Для ослабле-

нія вліянія тренія, вмѣсто оси, употребляютъ трехгранную призму, которую острымъ ребромъ кладутъ на подставкахъ изъ твердаго вещества, или вѣшаютъ маятникъ на тонкую весьма гибкую пластинку n (фиг. 627), но тогда движенію препятствуетъ несовершенная гибкость пластинки. Сопротивленіе воздуха уменьшаютъ, заостряя края чечевицы: наконецъ, можно почти совершенно устранить вліяніе этой причины, помѣщая маятникъ подъ стеклянный колоколъ, въ которомъ, помощію воздушнаго насоса, разрѣжаютъ воздухъ. При соблюденіи этихъ условій, маятникъ можетъ колебаться нѣсколько часовъ.

449. Приложенія. Маятникъ имѣетъ весьма важныя приложенія. Помощію его можно сравнить силы тяжести въ разныхъ мѣстахъ. Для этого одинъ и тотъ же маятникъ заставляютъ колебаться въ разныхъ точкахъ земной поверхности и опредѣляютъ время одного колебанія.

Пусть t, l и g изображаютъ соотвѣтственно: время колебанія, длину маятника и ускореніе падающаго тѣла для одного какого либо мѣста; для другого мѣста время колебанія и ускореніе будутъ иныя; назовемъ ихъ чрезъ t_1 и g_1. Тогда въ случаѣ весьма малыхъ угловъ:

$$t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

$$t_1 = \pi \sqrt{\frac{l}{g_1}}.$$

Раздѣливъ равныя величины на равныя, найдемъ:

$$\frac{t}{t_1} = \sqrt{\frac{g_1}{g}}, \text{ откуда } \frac{g_1}{g} = \frac{t^2}{t_1^2}.$$

Назвавъ силу тяжести для обоихъ мѣстъ наблюденій чрезъ f_1 и f, получимъ

$$\frac{f_1}{f} = \frac{g_1}{g} \text{ и, слѣдовательно, } \frac{f_1}{f} = \frac{t^2}{t_1^2}.$$

Итакъ, чтобы найти отношеніе $\frac{f_1}{f}$, надо опредѣлить изъ опыта t и t_1. Для достиженія большей точности, маятникъ заставляютъ качаться впродолженіе часа и болѣе и считаютъ число качаній. Раздѣляя потомъ протекшее время на число качаній, получаютъ время одного качанія. Чѣмъ продолжительнѣе былъ опытъ, тѣмъ точнѣе будетъ результатъ, потому что ошибка, происходящая отъ неточнаго опредѣленія начала и конца наблюденія, уменьшится отъ дѣленія на большое число.

Изъ такихъ изысканій оказалось, что сила тяжести на полюсахъ—наибольшая, и уменьшается отъ полюсовъ къ экватору, гдѣ она имѣетъ наименьшую величину. Ниже приведена таблица, показывающая силу тяжести для разныхъ мѣстъ, при чемъ сила тяжести на экваторѣ принята за единицу:

На экваторѣ	1,0000
Въ Парижѣ	1,0029
» Лондонѣ	1,0031
» Петербургѣ	1,0039
На полюсахъ	1,0057

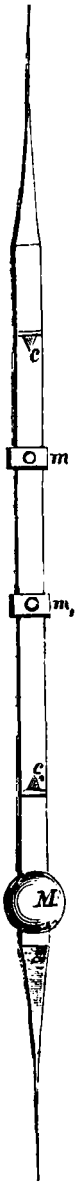
Изъ предыдущаго видимъ, что для опредѣленія относительной величины силы тяжести, или ускоренія свободно падающаго тѣла, въ разныхъ мѣстахъ земной поверхности, нѣтъ надобности знать величину l, т. е. разстояніе отъ точки привѣса до центра качанія; если же эта величина извѣстна, то можно вычислить и абсолютную величину ускоренія силы тяжести.

Изъ формулы $t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}}$ находимъ: $t^2 g = \pi^2 l$,

откуда

$$g = \frac{\pi^2 l}{t^2}.$$

Въ механикѣ доказывается слѣдующее свойство центра качанія: *если маятникъ привѣсить за центръ качанія, то прежняя точка привѣса сдѣлается центромъ качанія* и, слѣдовательно, время колебанія маятника не измѣнится. Этимъ свойствомъ пользуются, чтобы опредѣлить разстояніе отъ точки привѣса до центра качанія, но тогда и маятникъ долженъ имѣть особенное устройство. Маятникъ Катера состоитъ изъ латуннаго прута (фиг. 626) съ длинными остріями на концахъ, чтобы колебанія, при малыхъ углахъ отклоненія, были болѣе замѣтны. На немъ укрѣпляются неподвижно двѣ стальныя призмы c и c_1, которыми маятникъ вѣшаютъ на подставку. Положеніе центра качанія можно измѣнять чрезъ передвиженіе чечевицы M и двухъ грузовъ m и m_1; чечевица и грузъ m перемѣщаются рукою, а грузъ m_1—помощію микрометрическаго винта (не показаннаго на фигурѣ). Привѣсивъ маятникъ ребромъ призмы c, заставляютъ его качаться продолжительное время и находятъ время одного качанія. Затѣмъ, маятникъ перевертываютъ, вѣшаютъ его на подставку за точку c_1 и повторяютъ наблюденіе. Если бы въ обоихъ случаяхъ получилось одно и то же время для одного колебанія, то это означало бы, что точки c и c_1 находятся въ такой взаимной зависимости, что когда одна изъ нихъ есть точка привѣса, то другая — центръ качанія. Тогда осталось бы измѣрить разстояніе между ребрами призмъ, что и выразило бы искомую величину l. Маятникъ всегда можно привести къ такому состоянію, чрезъ перемѣщеніе грузовъ M, m и m_1. Первыя грубыя приближенія производятся передвиженіемъ грузовъ M и m; полнаго равенства временъ колебаній, при двухъ положеніяхъ маятника, достигаютъ микрометрическимъ передвиженіемъ груза m_1.



Фиг. 626.

Такимъ образомъ было опредѣлено изъ наблюденій, что ускореніе при свободномъ паденіи тѣла:

На экваторѣ	32,09	фута
Въ Парижѣ	32,18	»
» Лондонѣ	32,19	»
» Петербургѣ . . .	32,21	»

Путемъ вычисленія найдено, что на географическихъ полюсахъ ускореніе тяжести равно 32,27 фута.

Когда извѣстно ускореніе при свободномъ паденіи тѣла, то легко выч-

слить длину секунднаго маятника для малыхъ угловъ отклоненія. Для этого должно въ формулѣ

$$t=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$$

положивъ t равнымъ 1, а l—длинѣ секунднаго маятника. Тогда найдемъ:

$$1=\pi\sqrt{\frac{l}{g}}\text{, откуда } l=\frac{g}{\pi^2}.$$

Опираясь на предыдущую таблицу, легко вычислить длину секунднаго маятника для разныхъ точекъ земной поверхности:

На экваторѣ	39,018	дюйма
Въ Парижѣ	39,130	»
» Лондонѣ	39,140	»
» Петербургѣ . . .	39.169	»
На полюсахъ . . .	39,240	»

Длина полусекунднаго маятника должна быть въ 4 раза короче длины секунднаго, потому что, при уменьшеніи длины въ 4 раза, время колебанія уменьшается въ 2 раза. Такъ, для Петербурга она равна 9,792 дюйм. Точно такъ же найдемъ для длины маятника, который бьетъ четверти секунды 2,448 дюйм.

450. Маятникъ употребляется еще въ часахъ. Механизмъ часовъ проводится въ движеніе посредствомъ закрученной пружины, или гирею, которая, падая, тянетъ снурокъ, намотанный на валъ; послѣдній имѣетъ на окружности прикрѣпленнаго къ нему колеса зубцы, захватывающіе зубцы шестерни другого колеса, котораго зубцы приводятъ въ движеніе шестерню третьяго, и т. д. На осяхъ нѣкоторыхъ изъ колесъ насажены стрѣлки, двигающіяся по циферблату. Если бы при часахъ не было маятника, то стрѣлки не могли бы идти равномѣрно и, слѣдовательно, вѣрно указывать время; для сообщенія имъ равномѣрнаго движенія, съ механизмомъ часовъ соединяется маятникъ. Способъ соединенія изображенъ на фигурѣ 627. Зубчатое колесо R, прикрѣпленное неподвижно къ валу S, приводится во вращательное движеніе гирей, привязанной къ веревкѣ, которая намотана на валъ S. Къ оси OO' прикрѣплены неподвижно якорь cab и вилка Of, обхватывающая маятникъ nM. Маятникъ виситъ на гибкой пластинкѣ n, защемленной въ d. Если маятникъ имѣетъ отвѣсное положеніе, то якорь однимъ концомъ b упирается въ зубецъ, обозначенный нумеромъ 1. между тѣмъ какъ другой конецъ c стоитъ противъ промежутка зубцовъ 6 и 7, не касаясь ни того, ни другого; поэтому, колесо R не вращается, и механизмъ находится въ покоѣ. Но если маятникъ будетъ отведенъ влѣво, то, при посредствѣ вилки Of, и оси OO', онъ въ ту же сторону отклонитъ и якорь cab, и зубецъ 1 сдѣлается свободнымъ; колесо R начнетъ

вращаться, но тотчасъ же будетъ остановлено концомъ *c* якоря, который упрется въ зубецъ 7; въ то же время оконечность *b* якоря, станетъ противъ промежутка между зубцами 1 и 2; затѣмъ, маятникъ пойдетъ назадъ, зубецъ 7 освободится, колесо *R* опять начнетъ вращаться, но оконечность *b*, ударившись въ зубецъ 2, остановитъ это движеніе. Потомъ, освободится зубецъ 2 и задержится зубецъ 8; и т. д. Легко видѣть, что, при двухъ колебаніяхъ маятника, колесо *R* повертывается на одинъ зубецъ въ два уступа; такимъ образомъ, если оно имѣетъ 30 зубцевъ, а время колебанія маятника равно одной секундѣ, то стрѣлка, прикрѣпленная къ оси колеса, будетъ совершать полный оборотъ въ одну минуту. Въ часахъ, колесо *R*, называемое *храповымъ*, имѣетъ, вмѣсто вала *S*, шестерню, захватывающую зубцы другого колеса, котораго шестерня захватываетъ зубцы третьяго, и т. д.; оно ставитъ въ зависимость ходъ часовъ отъ движенія маятника, и такъ какъ времена колебаній маятника равны между собою, то часовой механизмъ получаетъ равномѣрное движеніе

Уменьшеніе скорости маятника чрезъ треніе и сопротивленіе воздуха вознаграждается ударами зубцевъ колеса *R* въ оконечности *b* и *c* якоря.

Если часы уходятъ впередъ, то должно удлинить маятникъ, а когда отстаютъ, то укоротить его; для этой цѣли, на стержнѣ маятника есть гайка, которою можно передвигать чечевицеобразное тѣло *M*.

451. Уравнительный маятникъ. Извѣстно, что при нагрѣваніи тѣла расширяются; поэтому, въ теплѣ маятникъ удлиняется, и время колебанія его увеличивается; въ холодѣ замѣчается явленіе обратное: время колебанія уменьшается; въ первомъ случаѣ часы должны отставать, а во второмъ—уходить впередъ. Основываясь на неодинаковомъ расширеніи тѣлъ, можно приготовить маятникъ, который будетъ въ теплѣ и холодѣ колебаться съ одинаковою скоростью. Такой маятникъ называется *уравнительнымъ*. Чечевицеобразное тѣло *L* (фиг. 628) привѣшиваютъ на нѣсколько прутьевъ, попеременно стальныхъ и латунныхъ; первые на фигурѣ представлены темными, и вторые—свѣтлыми. Стальной стержень *a*, къ которому прикрѣплена чечевица *L*, утвержденъ на пластинкѣ *m* и проходитъ свободно въ промежуткахъ между пластинками *n* и *R*, связывающими латунные прутья со стальными. При возвышеніи температуры, чечевица, отъ расширенія стальныхъ стерж-

Фиг. 628.

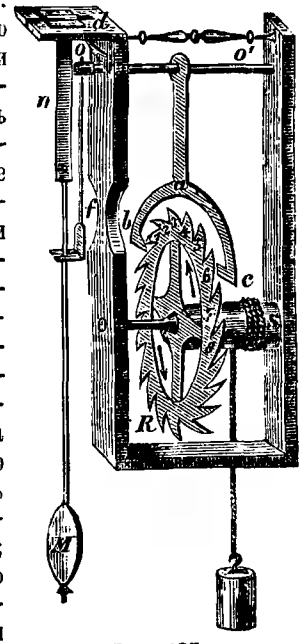
ней, опустится, и маятникъ удлинится, но какъ, съ другой стороны, латунные прутья могутъ расширяться только вверхъ, то чечевица подымется, и маятникъ укоротится.— Чтобы разстояніе отъ точки привѣса до центра качанія оставалось одно и то же при измѣненіи температуры, нужно, чтобы отношеніе общей длины стальныхъ прутьевъ a, b, c, d къ длинѣ латунныхъ p и q было равно отношенію каэффиціентовъ линейнаго расширенія латуни и стали. Первое отношеніе болѣе $1^1/_2$ и менѣе 2; второе заключается между тѣми же предѣлами; слѣдовательно, предположенному требованію удовлетворить возможно.

Часы съ уравнительнымъ маятникомъ называются *хронометромъ*.

Центробѣжная сила

452. Выводъ формулъ. Центробѣжная сила зависитъ отъ массы и скорости движущагося тѣла [83]. Выразимъ эту зависимость математически.

Пусть совершенно свободное тѣло A (фиг. 629), получивъ толчекъ и повинуясь дѣйствію непрерывной силы F, движется по окружности круга. Предположимъ, что сила F стремится приблизить это тѣло къ C центру круга; будемъ называть ее *центростремительной*. При такихъ условіяхъ необходимо, чтобы направленіе толчка, полученнаго тѣломъ въ началѣ движенія, было перпендикулярно къ радіусу круга, и чтобы центростремительная сила F была постоянная. Вслѣдствіе инерціи, тѣло въ каждой точкѣ своего пути стремится сойти съ кривой и двигаться по касательной; но сила F, стараясь приблизить его къ центру, заставляетъ идти по окружности. Такъ какъ тѣло свободно, то въ каждое мгновеніе сила центростремительная должна быть равна и прямо противна центробѣжной, то есть той силѣ, которая стремится свести тѣло съ окружности. Если бы почему либо первая сдѣлалась болѣе, то тѣло приблизилось бы къ центру; въ случаѣ преобладанія центробѣжной силы, тѣло отошло бы за окружность. Слѣдовательно, чтобы опредѣлить зависимость центробѣжной силы отъ массы и скорости тѣла, достаточно найти, какъ посредствомъ двухъ послѣднихъ величинъ, то есть массы и скорости, выражается сила центростремительная.



Фиг. 627.

Разложимъ единицу времени, наприм. секунду, на n чрезвычайно малыхъ частей или элементовъ времени и допустимъ, что дѣйствіе постоянной силы F заключается въ рядѣ равныхъ толчковъ, производимыхъ только въ началѣ каждаго элемента. Если бы тѣло, находясь въ точкѣ A, не имѣло никакой скорости, то, получивъ одинъ толчекъ отъ силы F, въ началѣ перваго эле-

мента времени, оно приблизилось бы къ центру впродолженіе этого элемента, на нѣкоторую линію $AB=x$. Но пусть, вслѣдствіе скорости, полученной тѣломъ отъ какой либо особой причины, въ началѣ перваго элемента, по направленію касательной, оно должно пробѣжать впродолженіе перваго элемента линію AE. Будучи принуждено такимъ образомъ двигаться по двумъ направленіямъ, тѣло пойдетъ по діагонали AH параллелограма, построеннаго на линіяхъ AE и AB, и къ концу перваго элемента придетъ въ H, на конецъ этой діагонали. Зная величину x или AB, можно судить о величинѣ силы F; опредѣлимъ величину x. На основаніи извѣстной теоремы геометріи, имѣемъ:

$$\frac{AB}{AH}=\frac{AH}{AG}.$$

Хорду AH можно считать равною дугѣ AH. Если назовемъ чрезъ v скорость движенія тѣла по окружности, то AH будетъ равно $\frac{v}{n}$. Положивъ еще $AG=2r$, найдемъ изъ предыдущей пропорціи:

$$x=\frac{v^2}{2rn^2} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (a)$$

Чтобы имѣть понятіе о величинѣ какой либо силы, надо сравнить ея дѣйствіе съ дѣйствіемъ другой силы, принимаемой за единицу мѣры, а для этого достаточно найти отношеніе производимыхъ ими ускореній [434]. Наиболѣе извѣстная намъ постоянная сила есть сила тяжести, которой ускореніе равно 32,2 фута; для сравненія центростремительной силы F съ силою тяжести, необходимо найти ускореніе, доставляемое силою F.

Если тѣло въ первый элементъ времени прошло линію x, то въ одну секунду, или n элементовъ, пройдетъ въ n^2 разъ болѣе, то есть n^2x, потому что сила F—постоянна и, слѣдовательно, движеніе тѣла—равномѣрно ускоренное [435 и 441]. Кромѣ того, въ равномѣрно ускоренномъ движеніи, когда начальная скорость была нуль,—ускореніе вдвое болѣе пространства. пройденнаго въ первую секунду; поэтому, ускореніе въ разсматриваемомъ случаѣ будетъ $2n^2x$. Умноживъ обѣ части равенства (a) на $2n^2$, будемъ имѣть.

$$2n^2x=\frac{v^2}{r}.$$

Итакъ, ускореніе, которое въ состояніи произвести центростремительная сила F, или равная ей центробѣжная, есть $\frac{v^2}{r}$; назвавъ вѣсъ тѣла A чрезъ Q, а ускореніе при свободномъ паденіи чрезъ g, найдемъ:

$$\frac{F}{Q}=\frac{\left(\frac{v^2}{r}\right)}{g}=\frac{v^2}{gr},$$

$$\text{откуда } F=Q\,.\,\frac{v^2}{rg} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (b)$$

Величина $\frac{F}{Q}$ показываетъ отношеніе центробѣжной силы къ вѣсу тѣла, если напр. это отношеніе равно 5, то центробѣжная сила въ пять разъ болѣе вѣса тѣла.

Изъ формулы (b) видимъ, что *центробѣжная сила прямо пропорціональна вѣсу тѣла; при равныхъ окружностяхъ прямо пропорціональна квадрату скорости, а при одинаковыхъ скоростяхъ обратно пропорціональна радіусу окружности.*

Формулу (b) можно представить въ другомъ видѣ, болѣе удобномъ въ приложеніяхъ. Называя чрезъ t время полнаго оборота тѣла по окружности, выраженное въ секундахъ, найдемъ:

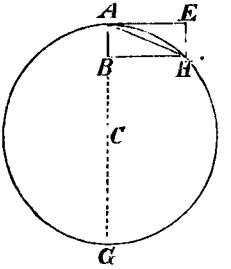
$$v=\frac{2\pi r}{t},$$

Подставивъ на мѣсто v въ формулу (b) найденное выраженіе, получимъ:

$$F=Q\,\frac{\left(\frac{4\pi^2r^2}{t^2}\right)}{gr}=Q.\frac{4\pi^2r}{gt^2}\quad . \quad : \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (c)$$

то есть *центробѣжная сила при одинаковыхъ временахъ полнаго оборота прямо пропорціонально радіусу окружности, а при одинаковыхъ окружностяхъ обратно пропорціональна квадрату времени полнаго оборота.*

Всякую кривую линію можно разсматривать какъ бы составленною изъ безконечно малыхъ дугъ окружности, которой радіусъ непрерывно измѣняется. Всякую перемѣнную силу можно принять постоянною для элемента времени. Поэтому, формула (b) справедлива не только для кругового равномѣрнаго движенія и постоянной силы, но и для всякаго криволинейнаго движенія и перемѣнной силы, съ тою только разницею, что въ первомъ случаѣ центробѣжная сила постоянна, а во второмъ относится къ какому нибудь мгновенію и съ теченіемъ времени измѣняется.



Фиг. 629.

453. Для разъясненія предлагаются примѣры.

Привязавъ шаръ въ 3 фунта вѣсомъ на нитку длиною въ 2 фута, станемъ вращать его около руки, заставляя описывать въ секунду полную окружность. Натянутость нити будетъ равна центробѣжной силѣ. Требуется опредѣлить ея величину. Полагая въ формулѣ (c).

$$\pi=3{,}14,\ r=2,\ g=32{,}2 \text{ и } t=1,$$

найдемъ

$$\frac{F}{Q}=\frac{F}{3}=2^1/_2,$$

то есть натянутость нити больше вѣса шара въ $2^1/_2$ раза, и, значитъ, равна $3\,.\,2^1/_2$ или $7^1/_2$ фунтовъ.

Вычислимъ еще центробѣжную силу для тѣлъ, лежащихъ на экваторѣ земного шара, совершающаго свой оборотъ въ 23 час. 56′. Для этого случая надо положить:

$\pi=3{,}14$, $r=5979$ *) верстъ, $g=32{,}2$, t=числу секундъ въ 23 ч. 56′; отсюда найдемъ:

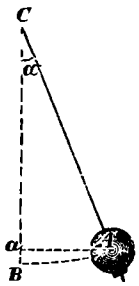
$$\frac{F}{Q}=\frac{1}{289}.$$

Слѣдовательно, на экваторѣ центробѣжная сила составляетъ $^1/_{289}$ вѣса; иначе сказать: вѣсъ тѣла, перенесеннаго съ полюса на экваторъ, уменьшится на $^1/_{289}$ своей величины. Кромѣ того, здѣсь еще оказываетъ вліяніе то обстоя-

*) Точнѣе 20926202 футовъ.

тельство, что точки экватора, какъ доказываетъ механика, притягиваются массою земного шара на $^1/_{568}$ слабѣе, нежели частицы, лежащія у полюса. Такимъ образомъ, вообще уменьшеніе силы тяжести, при переходѣ съ полюса на экваторъ, равно приблизительно $^1/_{200}$.

При колебаніи маятника также развивается центробѣжная сила. Величина ея можетъ быть найдена только изъ формулы (b), а не (c), потому что здѣсь движеніе неравномѣрное. Пусть маятникъ отклоненъ отъ отвѣсной линіи CB на уголъ $BCA=\alpha$ (фиг. 630); достигнувъ CB, центръ качанія A маятника будетъ имѣть скорость [443]:



Фиг. 630.

$$\sqrt{2g.aB}.$$

Поэтому, положивъ $CA=r$, найдемъ по формулѣ (b).

$$\frac{F}{Q}=\frac{(\sqrt{2g.aB})^2}{gr}=\frac{2aB}{r},$$

гдѣ Q есть вѣсъ маятника. Но

$$aB=CB-Ca=r-r\ \mathrm{Cos}\alpha;$$

слѣдовательно,

$$\frac{F}{Q}=2(1-\mathrm{Cos}\alpha),\ \text{откуда}\ F=2Q(1-\mathrm{Cos}\alpha).$$

Присоединивъ еще сюда вѣсъ маятника, найдемъ, что вообще натянутость нити CA, когда маятникъ дойдетъ до отвѣса CB, будетъ

$$Q+2Q\ (1-\mathrm{Cos}\ \alpha)\ \text{или}\ 3Q-2Q\mathrm{Cos}\alpha.$$

Если уголъ отклоненія равенъ 60°, то Cos $\alpha=$ $^1/_2$, а натянутость нити $2Q$.

О количествѣ движенія и ударѣ твердыхъ тѣлъ.

454. Количество движенія. Чтобы привести покоющееся тѣло въ движеніе, надо преодолѣть его инерцію. Инерція тѣла пропорціональна его массѣ; она также пропорціональна скорости, сообщаемой тѣлу. Изъ этого ясно, что, по величинѣ массы и скорости движущагося тѣла, можно судить о величинѣ силы, которая привела тѣло въ движеніе. Предположимъ, для простоты, что сила постоянна, и примемъ за единицу силъ такую силу, которая можетъ въ единицу времени, единицѣ массы сообщить единицу скорости. Допустимъ, что масса увеличилась въ m разъ; чтобы сообщить тѣлу ту же скорость, силу должно увеличить во столько же разъ; тогда сила выразится числомъ m; если же при этомъ и скорость сдѣлается въ v разъ больше прежней, то сила будетъ въ mv разъ болѣе единицы силъ. *Произведеніе массы на скорость*, то есть mv, *называется количествомъ движенія.*

Назвавъ чрезъ F силу, будемъ имѣть равенство:

$$F=mv\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ .\ (v)$$

Если $m=3$ и $v=4$, то $F=12$, то есть, когда масса въ три раза болѣе единицы массъ, а скорость въ 4 раза—единицы скоростей, то сила будетъ въ 12 разъ болѣе единицы силъ или силы, которая способна единицѣ массы сообщить единицу скорости.

Изъ предыдущаго равенства видно, что одна и та же сила производитъ одно и то же количество движенія, на какое бы тѣло ни дѣйствовало. Если масса тѣла огромна, а сила мала, то и скорость будетъ мала; но во всякомъ

случаѣ, какъ бы ни было велико тѣло, мы можемъ привести его въ движеніе произвольно малою силою, хотя, можетъ быть, скорость будетъ чрезвычайно мала.

Обозначимъ чрезъ p—вѣсъ тѣла, котораго масса равна m, а чрезъ g—ускореніе тяжести, или, что все равно, скорость, которую пріобрѣтаетъ свободно падающее тѣло къ концу первой секунды. Разсуждая подобно предыдущему, получимъ

$$p=mg, \text{ откуда } m=\frac{p}{g}.$$

Подставляя на мѣсто m его величину въ формулу (v), найдемъ:

$$F=\frac{p}{g}\cdot v \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (v_1)$$

Это равенство даетъ возможность вычислить силу F въ вѣсовыхъ единицахъ *). Для разъясненія сказаннаго, разсмотримъ слѣдующій случай. Вагоны, составляющіе нѣкоторый поѣздъ, вѣсятъ 12000 пудовъ. Отходя отъ станціи, локомотивъ сообщилъ поѣзду къ концу первой секунды скорость 0,5 фута. Сила F локомотива, не принимая во вниманіе тренія, сопротивленія воздуха и другихъ препятствій движенію, выразится такъ:

$$F=12000\times\frac{0,5}{32,2}=186,3 \text{ пуд.}$$

Если бы поѣздъ былъ прицѣпленъ къ локомотиву одною цѣпью, то она была бы натянута съ такою силою, какъ бы на ней висѣла гиря въ 186,3 п.

Мы предположили, что сила F дѣйствовала въ теченіе секунды. Если промежутокъ времени, въ который произведено количество движенія mv, меньше секунды, то сила должна быть больше, во столько разъ, во сколько этотъ промежутокъ меньше секунды. Разсмотримъ еще примѣръ. Артиллерійскій снарядъ, вѣсомъ въ 2 пуда былъ выброшенъ изъ дула орудія со скоростью 2000 фут. въ секунду. Постоянная сила, чтобы произвести такое дѣйствіе въ теченіе 1 секунды, должна быть равна 248,4 пуд. Въ разсматриваемомъ случаѣ, сила должна быть несравненно больше, потому что пороховые газы дѣйствуютъ на снарядъ пока онъ двигается въ орудіи, а это продолжается весьма короткій промежутокъ времени. Считая его въ 0,01 секунды, мы нашли бы, что давленіе, испытываемое снарядомъ со стороны упругости пороховыхъ газовъ, равно 24840 пуд. (не принимая во вниманіе тренія снаряда о стѣнки орудія).

Если движущееся тѣло, встрѣтивъ на пути преграду, останавливается, то оно производитъ на преграду давленіе. Величина давленія зависитъ отъ количества движенія mv и отъ продолжительности промежутка времени, въ теченіе котораго тѣло должно остановиться. Если постоянная сила, которая останавливаетъ тѣло, должна дѣйствовать столько же времени, сколько дѣйствовала та сила, которая привела тѣло въ движеніе, то обѣ силы должны быть равны, потому что сопротивленіе инерціи, при переходѣ тѣла изъ покоя въ

---

*) Потому что выраженіе $\frac{p}{g}\cdot v$ можно представить такъ: $p.\frac{v}{g}$, гдѣ p есть вѣсъ тѣла, приведеннаго въ движеніе, а $\frac{v}{g}$ — отвлеченное число.

движеніе, равно сопротивленію, при переходѣ тѣла изъ движенія въ покой. Значитъ, давленіе испытываемое преградой, въ которую ударилось движущееся тѣло, надо вычислять по формулѣ (v_1). Чѣмъ короче ударъ, тѣмъ больше давленіе. Отъ этого, артиллерійскіе снаряды производятъ болѣе разрушительныя дѣйствія на каменныя постройки, чѣмъ на земляныя укрѣпленія. По той же причинѣ, между вагонами располагаютъ пружины (и другія приспособленія), чтобы при столкновеніи увеличить продолжительность удара.

455. Силы можно измѣрять еще ускореніями. Примемъ за единицу силъ такую силу, которая можетъ единицѣ массы, въ единицу времени сообщить единицу ускоренія. Назовемъ силу чрезъ F, массу—чрезъ m и ускореніе—чрезъ a. Разсуждая подобно предыдущему, мы получимъ:

$$F=ma \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (a)$$

Точно такъ же найдемъ:

$$p=mg, \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \quad (g)$$

откуда

$$F=\frac{p}{g}.a.$$

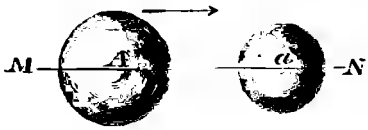
Изъ этого уравненія можно выразить силу F въ вѣсовыхъ единицахъ.

Примѣчаніе. Изъ уравненій (a) и (g) получаются двѣ формулы:

$$m=\frac{F}{a} \text{ и } m=\frac{p}{g}.$$

Первая показываетъ, что *массу можно разсматривать какъ отношеніе силы къ ускоренію*, а вторая—что *массу можно разсматривать какъ отношеніе вѣса къ ускоренію тяжести*. Второе выраженіе, впрочемъ, есть частный случай перваго.

456. Ударъ между неупругими шарами. Пусть два неупругіе шара A и a (фиг. 631), которыхъ массы M и m, двигаются равномѣрно по направленію прямой линіи MN въ одну сторону, съ скоростями V и v; количества движенія ихъ будутъ соотвѣтственно: MV и mv. Допустимъ, что центры шаровъ постоянно находятся на одной и той же прямой линіи MN. Если $V>v$, то разстояніе между шарами будетъ уменьшаться, и, наконецъ, произойдетъ ударъ; требуется опредѣлить скорость шаровъ послѣ столкновенія. Когда шаръ A догонитъ шаръ a, то станетъ производить на него давленіе; скорость перваго будетъ мало по малу уменьшаться, а второго увеличиваться. Но чтобы измѣнить скорость тѣла, нужно преодолѣть его инерцію, а на это требуется нѣкоторое время; поэтому, шары, одновременно съ измѣненіемъ ихъ скоростей, будутъ сжиматься, до тѣхъ поръ, пока скорости не сравняются; затѣмъ, оставаясь



Фиг. 631.

Фиг. 632.

сжатыми (фиг. 632), какъ тѣла неупругія, шары будутъ двигаться вмѣстѣ, не приближаясь и не удаляясь одинъ отъ другого. Количество движенія, поте-

рянное шаромъ A, равно давленію, которое испытываетъ шаръ a со стороны шара A, и употребляется на увеличеніе количества движенія шара a; отъ этого, количество движенія шара a на столько увеличится, на сколько количество движенія шара A уменьшилось, и, слѣдовательно, сумма количествъ движеній шаровъ, до удара и послѣ удара, должна быть одна и та же. Назовемъ чрезъ x общую скорость шаровъ послѣ удара; тогда количество движенія шара A выразится чрезъ Mx, а шара a—чрезъ mx. Такимъ образомъ получается уравненіе:

$$(M+m)\,x=MV+mv,$$

откуда

$$x=\frac{MV+mv}{M+m}\;.\;.\;.

Подставивъ на мѣсто x его величину изъ формулы (11), найдемъ:

$$U = \frac{V(M-m)+2mv}{M+m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

$$u = \frac{v(m-M)+2MV}{M+m} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (13)$$

Разсмотримъ нѣкоторые частные случаи.

1. Полагая въ формулахъ (12) и (13) v равнымъ нулю и $M=m$, найдемъ, что

$$U=o \text{ и } u=V,$$

то есть, если движущаяся масса встрѣчаетъ на пути равную ей и покоющуюся, то первая останавливается, а вторая получаетъ скорость первой. Вообразимъ рядъ одинаковыхъ шаровъ A, B, C и D (фиг. 633), которыхъ центры расположены на одной прямой линіи, и пусть крайній шаръ A получилъ, отъ дѣйствія силы, скорость V по направленію, показанному стрѣлкой; ударившись о шаръ B, онъ остановится, а шаръ B станетъ двигаться съ тою же скоростью V, пока не достигнетъ шара C, послѣ чего остановится, сообщивъ свою скорость шару D, и т. д. Наконецъ, крайній шаръ D получитъ скорость шара A безъ измѣненія, сколько бы ни было промежуточныхъ шаровъ между A и D.

2. Пусть $v=o$; тогда формула (12) дастъ

$$U = \frac{V(M-m)}{M+m},$$

Фиг. 633.

а (13) —

$$u = \frac{2MV}{M+m}.$$

Если при томъ $M>m$, то $V\frac{M-m}{M+m}$ есть величина положительная и меньше V, потому что $M-m<M+m$, и, слѣдовательно, $\frac{M-m}{M+m}<1$; въ то же время величина $\frac{2MV}{M+m}>V$, ибо $M>m$, откуда $M+M>M+m$, и, стало быть,

$$\frac{2M}{M+m}>1.$$

То есть, если движущаяся масса ударится въ другую, меньшую и находящуюся въ покоѣ, то обѣ будутъ двигаться по тому же направленію: первая съ меньшею, противъ прежней, скоростью, а вторая съ большею противъ той, какую имѣла первая масса до удара.

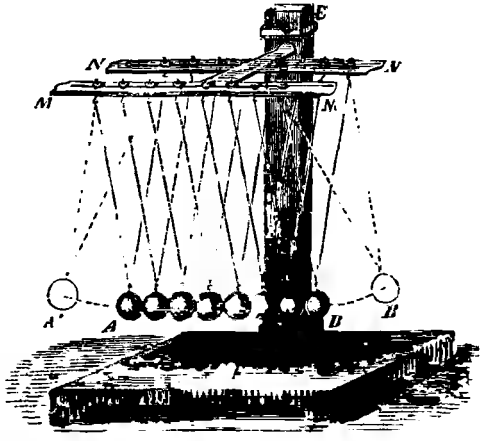
Когда $v=0$ и $M<m$, то количество $V\frac{M-m}{M+m}$ отрицательное, а абсолютная его величина менѣе V; количество же $\frac{2MV}{M+m}$ положительное и меньше V. То есть, если ударяющая масса менѣе покоющейся, то первая послѣ удара будетъ двигаться назадъ съ меньшею скоростью противъ прежней, а вторая — впередъ, и также съ меньшею скоростью, чѣмъ та скорость, какую первая масса имѣла до удара.

Всѣ слѣдствія, найденныя изъ формулъ (12) и (13), и многія другія, которыя легко получить, а также и самыя формулы справедливы только прибли-

зительно, ибо выведены въ предположеніи, что шары упруги въ совершенствѣ, чего однакожъ не бываетъ.

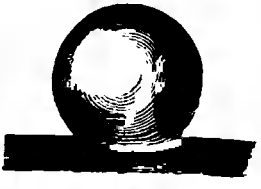
Задачи предыдущаго параграфа предлагается разрѣшить въ случаѣ упругихъ шаровъ.

Явленія, происходящія при ударѣ упругихъ и неупругихъ шаровъ, можно повѣрить на машинѣ Гравезанда. Этотъ приборъ состоитъ изъ нѣсколькихъ упругихъ или неупругихъ шаровъ A, ... B (фиг. 634), касающихся другъ друга и привѣшенныхъ на нитяхъ, которыхъ одни концы закрѣплены на линейкѣ MM, другіе—на линейкѣ NN. Обѣ линейки поддерживаются станкомъ EF. Упругіе шары приготовляются изъ слоновой кости, неупругіе—изъ свинца. Если всѣ шары упруги и одинаковой массы, и мы отведемъ одинъ изъ крайнихъ A до A' и предоставимъ его самому себѣ, то, возвратясь въ прежнее положеніе, онъ произведетъ ударъ; всѣ шары останутся въ покоѣ, кромѣ другого крайняго B, который отскочитъ, описавъ дугу BB', равную AA'. Для повѣрки прочихъ слѣдствій, выведенныхъ изъ формулъ (11), (12) и (13), привѣшиваютъ только два шара изъ слоновой кости или свинца, равные или неравные. Такъ напримѣръ, если возьмемъ два шара неупругихъ равной величины и одинъ изъ нихъ отведемъ отъ положенія равновѣсія, то, послѣ удара, оба шара будутъ двигаться вмѣстѣ и отклонятся по другую сторону на меньшую дугу.

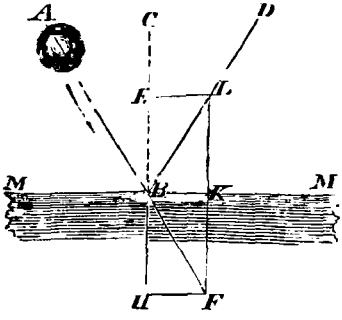


Фиг. 634.

458. Ударъ шара въ плоскость. Разсмотримъ явленія, сопровождающія ударъ шара въ неподвижную плоскость или вообще преграду, и во первыхъ тотъ случай, когда движеніе перпендикулярно къ преградѣ. Достигнувъ плоскости, шаръ будетъ стремиться, вслѣдствіе инерціи, продолжать свое движеніе. Отъ этого, произойдетъ между шаромъ и преградою взаимное давленіе, отъ котораго шаръ сплющится, а въ плоскости сдѣлается углубленіе (фиг. 635). Сила этого давленія зависитъ отъ количества движенія и продолжительности удара. Когда неупругій шаръ падаетъ на горизонтальную, также неупругую плоскость, то останется на томъ мѣстѣ ея, на которое упалъ. Въ противномъ случаѣ, то есть когда шаръ и плоскость упруги, то они стремятся принять свою прежнюю форму съ такою же силою, съ какою были сжаты. Поэтому, шаръ отскочитъ отъ плоскости со скоростью, равною той, какую имѣлъ при началѣ удара.

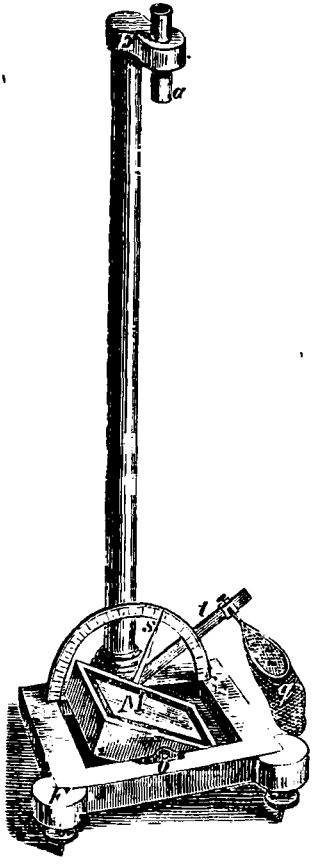

Фиг. 635.

Пусть направленіе движенія шара составляетъ съ перпендикуляромъ BC къ плоскости MM (фиг. 636) уголъ ABC, называемый *угломъ паденія*.



Фиг. 636.

Когда шаръ коснется плоскости, то произведетъ на нее, по направленію движенія BF, давленіе. Изобразивъ это давленіе линіею BF, разложимъ его, посредствомъ параллелограма силъ, на двѣ силы: по направленіямъ BH и BK, перпендикулярному и параллельному плоскости MM; первая изъ нихъ P, изображаемая линіею BH, придавливаетъ шаръ къ преградѣ MM, а вторая Q, представляемая линіею BK, сообщаетъ ему скорость, параллельную плоскости MM. Если вещество шара и плоскости неупруго, то шаръ, измѣнясь нѣсколько въ своей формѣ и сдѣлавъ на преградѣ углубленіе въ мѣстѣ своего паденія, станетъ потомъ отъ дѣйствія силы Q двигаться по плоскости, по направленію BK. Когда же шаръ и плоскость совершенно упруги, то они принимаютъ первоначальную форму, при чемъ шаръ отбрасывается отъ плоскости съ силою, равною силѣ P. Такимъ образомъ, шаръ будетъ находиться подъ вліяніемъ двухъ силъ: Q, дѣйствующей по направленію BK, и силы P, совпадающей съ линіей BE, равной линіи BH. Слѣдовательно, шаръ послѣ удара станетъ двигаться по діагонали BL прямоугольника, построеннаго на линіяхъ BK и BE. Изъ равенства треугольниковъ EBL и HBF слѣдуетъ, что линіи BL и BF равны, а потому и сила, дѣйствующая по діагонали BL, равна силѣ, изображаемой линіею BF. Отсюда видимъ, что шаръ отскочитъ или, какъ говорятъ, *отразится* отъ преграды MM по линіи BD съ такою же скоростью, съ какою двигался до удара. Изъ равенства тѣхъ же треугольниковъ выходитъ, что уголъ HBF равенъ углу EBL, который называютъ *угломъ отраженія*; но $\angle HBF = \angle ABC$; слѣдовательно, $\angle ABC = \angle CBD$. Итакъ, при ударѣ упругаго шара въ плоскость, уголъ паденія равенъ углу отраженія.



Фиг. 637.

459. Этотъ законъ повѣряется на особомъ приборѣ (фиг. 637). Мраморная доска M, вращающаяся на горизонтальной оси o, можетъ быть наклонена къ отвѣсной линіи подъ всякимъ угломъ. Чрезъ трубку a, утвержденную вертикально на станкѣ EF, опускаютъ шарикъ изъ слоновой кости. Металлическая стрѣлка s, перпендикулярная къ плоскости M, двигается по дугѣ, на которой обо-

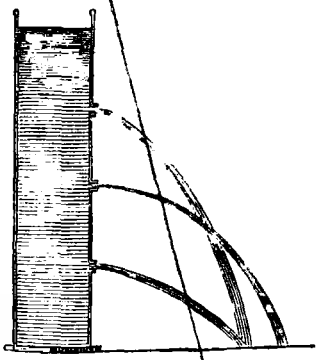
значены градусы, и указываетъ уголъ паденія шара на плоскость. Кромѣ того, есть еще стрѣлка t съ мѣшкомъ q, которую можно поставить такъ, чтобы уголъ, образованный ею съ первой стрѣлкой, равнялся углу паденія шарика. Тогда шарикъ, послѣ удара въ плоскость, попадаетъ въ мѣшокъ.

Такъ какъ твердыхъ тѣлъ, совершенно упругихъ, не бываетъ, то сила, изображаемая линіею BL (фиг. 636), никогда не равняется силѣ, изображаемой линіей BF, а потому скорость, съ которою шаръ отскакиваетъ отъ плоскости MM, менѣе той, какую онъ имѣлъ до удара, и уголъ отраженія CBD не равенъ углу CBA. Сила тяжести еще болѣе увеличиваетъ неправильность, потому что всякое вѣсомое тѣло, брошенное наклонно къ горизонту, двигается криволинейно, а не по прямымъ линіямъ AB и BD, какъ мы предполагали.

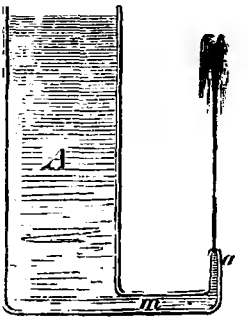
Формулы и законы, относящіеся до удара шаровъ между собою и въ неподвижныя преграды, можно повѣрять также на билліардѣ; но при этомъ должно наблюдать, чтобы удары были центральные, ибо, въ противномъ случаѣ, то есть когда ударяютъ шаръ выше или ниже центра, вправо или влѣво, шаръ, кромѣ поступательнаго движенія, къ которому приложимы предыдущія сужденія, можетъ получить еще вращательное; тогда наблюдаются особыя явленія, не вполнѣ объясняемыя теоріею.

Движеніе жидкостей.

460. Вытеканіе жидкости чрезъ малыя отверстія. Если въ сосудъ (фиг. 638) нальемъ воды, или какой либо другой жидкости, и сдѣлаемъ въ боковой стѣнкѣ, или на днѣ отверстіе, то жидкость начинаетъ вытекать въ видѣ струи. Подобное явленіе замѣчается, когда имѣемъ два неравной высоты сообщающіеся сосуда A и a (фиг. 639); тогда струя направляется снизу вверхъ и называется *фонтаномъ*.



Фиг. 638.



Фиг. 639.

Фиг. 640.

Если ширина сосуда и высота жидкости достаточно велики сравнительно съ отверстіемъ, то жидкость вытекаетъ слоями: сначала выливается самый нижній горизонтальный слой, потомъ слѣдующій верхній и такъ далѣе, что легко замѣтить, если сосудъ прозраченъ, по плавающимъ соринкамъ. Частицы жидкости самаго ниж-

няго слоя (фиг. 642) сначала двигаются горизонтально, или нѣсколько наклонно, потомъ поворачиваютъ въ отверстіе и, сталкиваясь въ *ab*, при выходѣ изъ сосуда, производятъ въ *cd*, на небольшомъ разстояніи отъ отверстія, *сжатіе струи*. Если отверстіе сдѣлано въ тонкой стѣнкѣ, или имѣетъ форму, показанную на фигурѣ 642, то отношеніе площади *cd* къ *ab* обыкновенно принимаютъ равнымъ 0,6. Это отношеніе можно увеличить, придавая отверстію видъ *A* (фиг. 641), и даже сдѣлать почти равнымъ 1, приставляя трубки. Когда жидкость стоитъ въ сосудѣ не высоко, или отверстіе довольно широко, то на верху ея образуется воронкообразное углубленіе (фиг. 640).

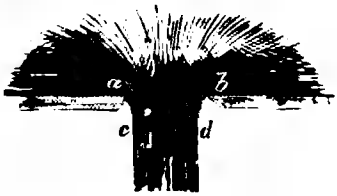
Фиг. 641.

Торичелли нашелъ изъ опыта, что жидкость, при выходѣ изъ отверстія, имѣетъ такую скорость, какую бы она пріобрѣла, падая, вслѣдствіе собственнаго вѣса, съ высоты, равной возвышенію уровня жидкости надъ отверстіемъ. Называя скорость вытеканія чрезъ v, высоту жидкости—чрезъ h, ускореніе силы тяжести—чрезъ g, найдемъ:

$$v=\sqrt{2gh} \quad . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; . \; (v)$$

Отсюда выходитъ, что скорость вытеканія прямо пропорціональна корню квадратному изъ высоты жидкости въ сосудѣ и не зависитъ отъ плотности жидкости.

Торичелли вывелъ этотъ законъ изъ того, что струя жидкости, выходящей изъ отверстія снизу вверхъ (фиг. 639), стремится подняться до уровня жидкости въ сосудѣ, и въ самомъ дѣлѣ достигла бы такой высоты, если бы были устранены препятствія къ движенію; а извѣстно, что тѣло, брошенное вверхъ въ пустотѣ, тогда только подымается на высоту h, когда скорость верженія равна той скорости, какую тѣло пріобрѣло бы, свободно падая съ той же высоты (444).

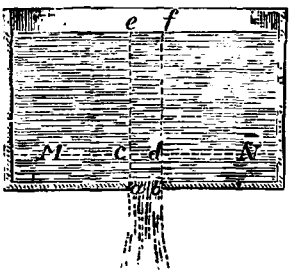


Фиг. 642.

Другой способъ повѣрки закона Торичелли заключается въ измѣреніи количества вытекающей жидкости въ единицу времени. Это количество зависитъ отъ скорости жидкости и величины отверстія и равно объему столба, у котораго высота равна скорости вытеканія, а основаніе—площади поперечнаго разрѣза струи, гдѣ она сжата до наибольшей степени. Такъ какъ сжатіе струи невозможно опредѣлить непосредственно изъ опыта, то необходимо уменьшить вліяніе этой причины, приставляя короткую трубку къ отверстію, чрезъ которое жид-

кость вытекаетъ, или придавая ей видъ, изображенный на фигурѣ 641. Объемъ жидкости, вытекшей въ одну секунду надо раздѣлить на площадь поперечнаго сѣченія трубки; частное выразитъ скорость струи. Оказывается, что найденная такимъ образомъ скорость почти равна (немного менѣе) величины $\sqrt{2gh}$, гдѣ подъ h надо разумѣть возвышеніе уровня жидкости надъ оконечностью трубки, чрезъ которую жидкость вытекаетъ.—Обратно допуская справедливость закона Торичелли, можно опредѣлить величину сжатія. Для этого, должно измѣрить объемъ жидкости, вытекшей въ одну секунду, и раздѣлить его на произведеніе $a.\sqrt{2gh}$, гдѣ a означаетъ площадь отверстія ab (фиг. 642). Частное, очевидно, выразитъ отношеніе площади cd къ площади ab. Такимъ образомъ найдено было приведенное выше число 0,6. Само собою разумѣется, что для большей точности, надо собирать вытекающую жидкость не одну секунду, а болѣе или менѣе продолжительное время, и полученный объемъ раздѣлить на число секундъ.

Пусть сосудъ, изъ котораго выходитъ струя чрезъ малое отверстіе ab (фиг. 643), весьма широкъ, и жидкость налита въ него до весьма большой высоты. Тогда вытеканіе происходитъ слоями, такъ что частицы, лежащія выше горизонтальной плоскости MN, опускаются медленно и вертикально; частицы, находящіяся ниже предѣла MN, двигаются горизонтально къ отверстію, потомъ поворачиваютъ внизъ и выталкиваются наружу. Чтобы опредѣлить скорость, которую онѣ при этомъ пріобрѣтаютъ, вообразимъ слой жидкости $cdab$ между отверстіемъ и плоскостью MN. Если бы этотъ слой падалъ только вслѣдствіе собственнаго вѣса, то, пробѣжавъ пространство ca, равное своей высотѣ, онъ пріобрѣлъ бы скорость $\sqrt{2gz}$, гдѣ g—ускореніе свободно падающаго тѣла, а $z=ac$. Но въ разсматриваемомъ случаѣ слой $cdab$ испытываетъ еще давленіе равное вѣсу жидкаго столба $efcd$, во все время своего движенія отъ MN до тѣхъ поръ, пока не выйдетъ изъ отверстія. Поэтому, въ предыдущемъ выраженіи должно вмѣсто g взять величину во столько разъ бо́льшую, во сколько вѣсъ столба $efab$ болѣе вѣса $cdab$, или во сколько ae, высота перваго столба, болѣе ac, высоты второго. Пусть $ac=h$; тогда количество $\sqrt{2gz}$ должно замѣнить слѣдующимъ:

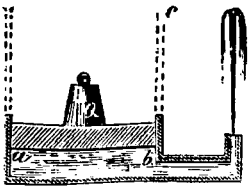


Фиг. 643.

$$\sqrt{2hz\frac{h}{z}} \text{ или } \sqrt{2gh},$$

которое выражаетъ законъ Торичелли. Замѣтимъ еще, что употребленныя сужденія, а, слѣдовательно, и выведенная формула, одинаково приложимы ко всякой жидкости, какова бы ни была ея плотность.

461. Фонтаны. На вытеканіи жидкости чрезъ малыя отверстія



Фиг. 644.

основано устройство фонтановъ. Широкій сосудъ A (фиг. 639) соединяется трубкою m съ другимъ узкимъ сосудомъ a, меньшей высоты. Коль скоро въ первый нальемъ воды, то изъ второго станетъ вытекать вертикальная струя жидкости, стремящаяся подняться до уровня воды въ сосудѣ A. На самомъ дѣлѣ она никогда не достигаетъ этой высоты отъ трехъ причинъ: сопротивленія воздуха, тренія жидкости о стѣнки трубки m и сосуда a и отъ того, что падающія частицы воды увлекаютъ внизъ частицы подымающіяся. Для устраненія послѣдняго препятствія, узкому сосуду a даютъ наклонное положеніе.

Устройство фонтановъ въ садахъ и комнатахъ, основанное на этомъ началѣ, возможно только въ такомъ случаѣ, когда имѣется резервуаръ воды, которой уровень лежитъ выше того мѣста, гдѣ долженъ быть фонтанъ.

Жидкость въ широкомъ сосудѣ можно замѣнить гирею Q (фиг. 644), положенною на поршень, который, плотно двигаясь между стѣнками сосуда, давитъ на поверхность жидкости ab. Наибольшая высота фонтана будетъ равна высотѣ жидкаго столба abc, опирающагося на поверхность ab, и котораго давленіе равно вѣсу гири Q вмѣстѣ съ поршнемъ, уменьшенное треніемъ поршня о стѣнки сосуда.

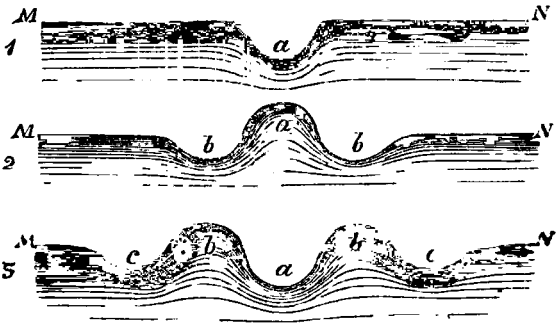
462. **Устройство струи.** Струя воды, или другой какой либо прозрачной жидкости, при выходѣ изъ отверстія также прозрачна, но потомъ, въ нѣкоторомъ разстояніи, начинаетъ мутиться и представляетъ утолщенія и суживанія. Это явленіе есть только кажущееся; на самомъ же дѣлѣ струя состоитъ изъ отдѣльныхъ капель (фиг. 645), большихъ 1, 2, 3, 4, 5,.... и малыхъ. Капли большія, перемежаясь съ малыми, періодически измѣняютъ свой видъ, принимая постепенно форму эллипсоидовъ (1, 2), растянутыхъ по горизонтальному направленію, потомъ шара (3), опять эллипсоидовъ (4, 5, 6), растянутыхъ по вертикальному направленію, снова возвращаются къ формѣ шара (7); и т. д. Каждая капля, падая, производитъ на глазъ во время своего пути различныя впечатлѣнія, которыя смѣшиваются въ одно впечатлѣніе струи съ утолщеніями, въ томъ мѣстѣ, гдѣ эллипсоиды растянуты горизонтально, и съ суживаніями въ тѣхъ точкахъ, гдѣ капли удлинены отвѣсно.

Фиг. 645.

Въ справедливости сказаннаго можно убѣдиться изъ опыта. Если поставимъ между глазомъ и струей кругъ съ отверстіями, какъ въ стробоскопѣ [389], и приведемъ его во вращательное движеніе, то впечатлѣнія, производимыя каплями, не смѣшиваются между собою, и потому будутъ восприняты глазомъ каждое отдѣльно. Тогда струя представляется подъ видомъ,

изображенномъ на фигурѣ. Можно того же достигнуть, освѣщая струю электрической искрой, которая продолжается столь короткое время, что падающія капли не успѣваютъ много перемѣститься.

463. Волненіе. Однородная жидкость, находящаяся подъ вліяніемъ собственнаго вѣса, тогда только можетъ быть въ равновѣсіи, когда она ограничивается сверху горизонтальною плоскостью MN (фиг. 646, 1). Пусть какая нибудь причина сдѣлала на уровнѣ MN углубленіе a. При такихъ условіяхъ, равновѣсія быть не можетъ. Частицы, лежащія ниже плоскости MN въ углубленіи, будутъ выталкиваться вверхъ давленіемъ окружающихъ частицъ жидкости и, пріобрѣтя нѣкоторую скорость, подымутся, вслѣдствіе инерціи, выше MN. Такимъ образомъ, гдѣ было углубленіе, окажется возвышеніе a (фиг. 646, 2), а около этого возвышенія образуется кольцеобразное углубленіе b. Затѣмъ, частицы a опустятся, а частицы, лежащія въ углубленіи b, подымутся выше плоскости MN; такъ что въ a (фиг. 646, 3) явится углубленіе, въ b — кольцеобразное возвышеніе и въ c—кольцеобразное углубленіе; и т. д. Отсюда видимъ, что отъ нарушенія равновѣсія одной частицы a, происходятъ колебанія по всему уровню MN; получаются кольцеобразныя углубленія и возвышенія, которыя, по мѣрѣ удаленія отъ a, дѣлаются ниже и постепенно исчезаютъ. Такое движеніе жидкости называется *волнообразнымъ* или *волненіемъ*; каждое кольцеобразное углубленіе съ прилегающимъ къ нему возвышеніемъ — *волною*. Явленіе это представляется всегда такъ, какъ будто бы поднятая жидкость стекала по направленію движенія волнъ; на самомъ же дѣлѣ, частицы только подымаются и опускаются, не перемѣщаясь замѣтно впередъ и совершая такимъ образомъ колебанія, перпендикулярныя къ распространенію волнъ, что легко замѣтить, наблюдая плавающія тѣла.

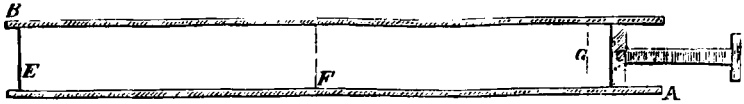


Фиг. 646.

Звукъ.

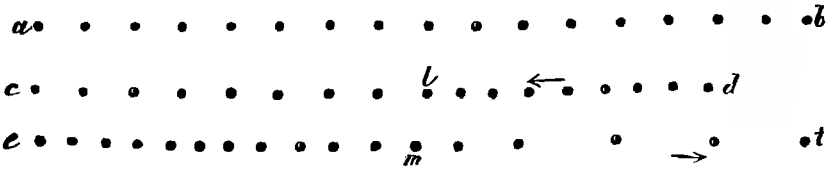
464. Дрожанія частицъ воздуха. Вообразимъ длинный цилиндръ AB (фиг. 647), въ которомъ можетъ двигаться взадъ и впередъ поршень C съ весьма большою скоростью и на очень маломъ про-

странствѣ отъ C до G. Еслибы воздухъ былъ совершенно несжимаемъ, то, на сколько перемѣстился бы впередъ поршень, на столько же подвинулся бы и воздухъ, и избытокъ его вышелъ бы чрезъ конецъ трубы AB; въ дѣйствительности же, воздухъ сжимаемъ и обладаетъ инерціею; поэтому, ранѣе чѣмъ преодолѣется его инерція, слой воздуха, прилегающій къ поршню, сгустится и пріобрѣтетъ большую упругость. Вслѣдствіе увеличиванія упругости, воздухъ начнетъ потомъ расширяться и станетъ сжимать слѣдующій слой; тотъ, расширяясь, въ свою оче-



Фиг. 647.

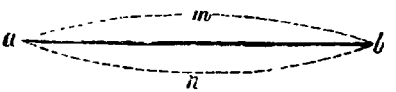
редь сгуститъ третій и т. д. Такимъ образомъ, пока поршень будетъ переходить изъ C въ G, сгущеніе будетъ передано на разстояніе CF, а далѣе, за F, пока будетъ обыкновенный воздухъ. Предположимъ, что поршень, достигнувъ G, тотчасъ начинаетъ возвращаться назадъ. Тогда прилегающій слой воздуха, устремляясь вслѣдъ за поршнемъ, разрѣдится и разрѣдитъ слѣдующій слой. Если поршень движется съ прежнею скоростью, то, пока онъ переходитъ въ первоначальное положеніе C, разрѣженіе передается до F; въ то же время сгущеніе, переходя отъ одного слоя къ другому, распространяется далѣе на пространство FE, равное CF. При вторичномъ движеніи поршня, произойдутъ новыя сгущеніе и разрѣженіе, между тѣмъ какъ прежнія передадутся далѣе. Такимъ образомъ, при колебаніи поршня, воздухъ въ трубѣ раздѣляется на нѣсколько частей, которыя попеременно будутъ сгущенная и разрѣженная; при этомъ частицы его двигаются по направленію трубы: въ сгущенной массѣ—впередъ, и въ разрѣженной—назадъ. Время колебанія каждой частицы воздуха равно времени колебанія поршня. Фигура 648 служитъ для разъясненія сказаннаго. Рядъ ab представляетъ частицы воздуха въ равновѣсіи, рядъ cd—то мгновеніе, когда поршень окончитъ первый размахъ; частицы отъ d до l ближе одна къ другой, нежели отъ l до c, куда сгущеніе еще не пере-



Фиг. 648.

дано; рядъ *et* изображаетъ состояніе частицъ, когда поршень возвратится въ первоначальное положеніе: въ пространствѣ отъ *t* до *m* частицы удалились одна отъ другой, а отъ *m* до *e* сблизились; за *e* частицы еще въ состояніи покоя. Колебанія воздуха называются, хотя и несвойственно, его *волнообразнымъ движеніемъ*, сгущенная и разрѣженная массы — *волною*, общая толщина обѣихъ массъ — *длиною волны*. Быстрыя колебанія называются *дрожаніями*.

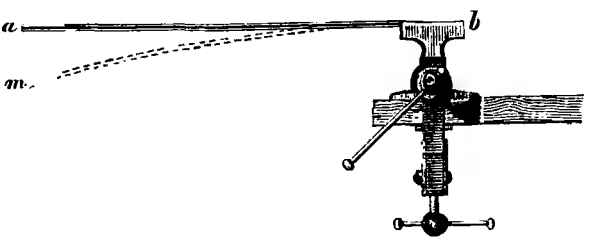
Пусть между неподвижными точками *a* и *b* (фиг. 649) натянута струна *ab*: если вѣсъ ея малъ, то можно принять, что струна натягивается по направленію прямой линіи. Отведемъ ее отъ этого положенія въ *amb* и предоставимъ самой себѣ. Вслѣдствіе своей упругости,



Фиг. 649.

она устремится въ первоначальное положеніе *ab*, но, по инерціи, перейдетъ его и отклонится до *anb*; отсюда она станетъ двигаться назадъ къ положенію *ab*, снова перейдетъ его и т. д. Такимъ образомъ, струна будетъ дрожать и приведетъ въ дрожаніе воздухъ. Подобное явленіе представляетъ упругая пластинка *ab* (фиг. 650), укрѣпленная неподвижно за одинъ конецъ, въ клещахъ, или какъ нибудь иначе. Если ее отклонить отъ положенія равновѣсія *ba* въ *bm* и предоставить потомъ самой себѣ, то она начнетъ дрожать и приведетъ въ дрожаніе воздухъ.

Вообще, если дрожитъ какое бы то ни было тѣло въ воздухѣ, то, подобно поршню въ трубѣ (фиг. 647), производитъ попеременно сгущеніе и разрѣженіе съ тою только разницею, что оно сообщаетъ дрожательное дви-



Фиг. 650.

женіе частицамъ атмосферы не по одному, но по всѣмъ направленіямъ.

Для разъясненія вообразимъ, что въ точкѣ *s* (фиг. 651) происходятъ попеременно разрѣженія и сгущенія. Въ первомъ случаѣ, около этой точки образуется разрѣженіе въ массѣ воздуха *a*. Потомъ, спустя нѣсколько времени, то же пространство будетъ содержать сгущенный воздухъ, и разрѣженіе будетъ передано далѣе шаровому слою *b*. Въ слѣдующій моментъ около *s* будетъ разрѣженіе, слой *b* сгустится, а слой *c* разрѣдится. Такимъ образомъ, въ концентрическихъ слояхъ возду-

ха, окружающихъ точку s, являются попеременно сгущенія и разрѣженія.—Если дрожитъ струна (фиг. 649), или пластинка (фиг. 650), то около каждой точки дрожащаго тѣла образуется рядъ сферическихъ волнъ сгущеннаго и разрѣженнаго воздуха; онѣ составляютъ общія (равнодѣйствующія) волны но ужѐ не сферическія, а иного вида.

Не трудно видѣть, что волны должны быть тѣмъ длиннѣе, чѣмъ время колебанія тѣла болѣе, и чѣмъ быстрѣе передаются сгущенія и разрѣженія. Послѣднее обстоятельство зависитъ отъ упругости и плотности воздуха: чѣмъ болѣе упругость при одной и той же плотности воздуха, тѣмъ съ большею скоростью частицы стремятся придти въ положеніе равновѣсія и тѣмъ, слѣдовательно, быстрѣе передаютъ колебанія другимъ частицамъ; напротивъ, съ увеличеніемъ плотности воздуха, при той же его упругости, увеличивается инерція частицъ, и скорость распространенія колебаній уменьшается. Теплый воздухъ при одинаковой упругости съ холоднымъ имѣетъ меньшую плотность; отъ этого, волны теплаго воздуха длиннѣе волнъ холоднаго.

Если бы, вмѣсто воздуха, было приведено въ дрожаніе какое нибудь другое вещество—газъ, жидкость, или твердое тѣло,—явленіе было бы то же самое; конечно длина волнъ была бы другая, потому что колебанія передавались бы съ иною скоростью, чѣмъ въ воздухѣ.

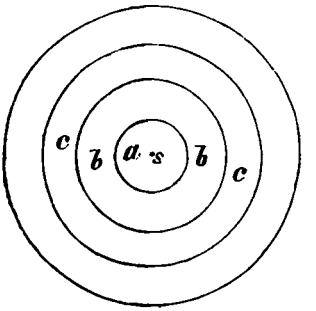
465. **Звукъ.** Когда до насъ достигаютъ воздушныя волны, то частицы воздуха производятъ на органъ слуха удары, которые преобразовываются неизвѣстнымъ способомъ въ ощущеніе *звука*. Что звукъ и колебанія воздуха—вещи разныя, и что въ природѣ нѣтъ звуковъ, а только дрожаніе матеріальныхъ частицъ, ясно уже изъ того, что ухо не способно воспринимать слишкомъ быстрыя и слишкомъ медленныя колебанія. Для доказательства, что звукъ происходитъ отъ колебанія воздуха, ставятъ подъ колоколъ воздушнаго насоса какое либо звучащее тѣло, напримѣръ будильникъ; также вѣшаютъ на пеньковыхъ нитяхъ, или кожаной полоскѣ колокольчикъ; тогда звуки ослабѣваютъ, по мѣрѣ выкачиванія воздуха. То же самое подтверждается естествоиспытателями, поднимавшимися на аэростатахъ и восходившими на высокія горы, гдѣ звуки, по причинѣ большой разрѣженности воздуха, весьма слабы.

Такъ какъ волнообразное движеніе можетъ происходить во всѣхъ упругихъ тѣлахъ, то и звукъ можетъ передаваться не только чрезъ воздухъ, но и чрезъ всякое другое вещество. Если проводить бородкою пера по одному концу деревяннаго стержня, а другой приложить къ уху, то можно ясно слышать шелестъ, который непосредственно чрезъ воздухъ не ощущается. Работники, находясь въ водолазномъ колоколѣ,

подъ водою, слышатъ довольно ясно происходящее на берегу. Рыбъ можно пріучить собираться по звонку къ берегу.

Волнообразное движеніе, распространяясь въ какой либо средѣ, всегда въ большей или меньшей степени ослабляется; лучшую проводимость имѣютъ тѣла упругія и твердыя; напротивъ, тѣла неупругія худо передаютъ дрожанія. Поэтому, при опытѣ надъ распространеніемъ звука въ разрѣженномъ воздухѣ необходимо, отдѣлять звучащій предметъ отъ подставки веществомъ, непроводящимъ звуковъ; въ противномъ случаѣ, дрожанія тѣла дадутъ въ подставкѣ волны, которыя произведутъ подобное же волнообразное движеніе въ наружномъ воздухѣ. Поэтому будильникъ надо ставить на подушку, набитую чѣмъ нибудь мягкимъ, напр. пухомъ; колокольчикъ должно вѣшать на пеньковыя нити, или на кожаную полоску.

466. Высота звука. Наше ухо способно различить въ звукахъ ихъ *высоту* или *тонъ*; медленныя колебанія воспринимаются нами въ видѣ *низкихъ* тоновъ, какіе напримѣръ производитъ длинная и толстая струна, слабо натянутая; быстрыя колебанія возбуждаютъ ощущеніе *высокихъ* тоновъ, какіе даютъ короткія и тонкія струны, сильно натянутыя. Иногда подъ тономъ разумѣютъ такой звукъ, въ которомъ можно различить высоту.



Фиг. 651.

Изъ опытовъ, до сихъ поръ сдѣланныхъ, выходитъ, что ухо воспринимаетъ колебанія, когда число ихъ не болѣе 38000 и не менѣе 16 въ секунду; по крайней мѣрѣ, до сихъ поръ никому не удавалось слышать звуки внѣ этихъ предѣловъ.

Шумомъ называется звукъ, котораго высоты мы не можемъ опредѣлить. Это происходитъ иногда отъ того, что звуки бываютъ весьма коротки, такъ что ухо не успѣваетъ получить полнаго впечатлѣнія; таковы: ударъ одного тѣла о другое, щелканіе бича, взрывъ и проч. Иногда шумъ есть совокупность многихъ тоновъ или звуковъ разной высоты, напримѣръ свистъ вѣтра, журчаніе ручья, плескъ морскихъ волнъ, шумъ, слышимый вблизи большого города. Впрочемъ, должно замѣтить, что данное опредѣленіе шума есть только относительное: многія лица имѣютъ столь хорошо развитый органъ слуха, что часто и въ шумѣ различаютъ тоны.

467. Скорость звука. Пространство, пробѣгаемое звукомъ въ

одну секунду или, все равно, пространство, на которое передается въ это время волнообразное движеніе среды, называется скоростью звука.

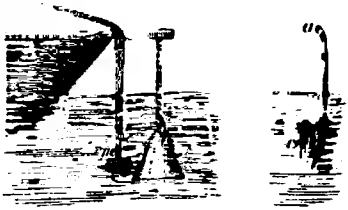
Что звукъ дѣйствительно имѣетъ скорость, а не передается изъ одного мѣста въ другое мгновенно, доказывается тѣмъ, что, когда стрѣляютъ изъ орудія, находящагося отъ насъ въ значительномъ разстояніи, то сначала мы видимъ свѣтъ, а потомъ слышимъ звукъ; равнымъ образомъ, хотя молнія и громъ явленія современныя, но сначала мы замѣчаемъ молнію и, спустя уже нѣсколько времени, слышимъ громъ.

Самое точное опредѣленіе скорости звука въ воздухѣ было произведено въ окрестностяхъ Парижа, въ 1822 году. На двухъ пунктахъ, разстояніе между которыми было съ точностью извѣстно, расположились наблюдатели; на одномъ—Прони, Матье и Араго, на другомъ —Гумбольдъ, Гелюссакъ и Бувардъ, и въ условленное заранѣе время стрѣляли изъ пушекъ. Замѣчали по хронометрамъ время, протекающее отъ появленія свѣта до того мгновенія, когда слышенъ былъ звукъ; изъ наблюдаемыхъ величинъ брали среднюю; раздѣляя потомъ на эту величину разстояніе, находили скорость звука.

Скорость звука въ воздухѣ при температурѣ 16^0 равна 1118,4 фут.; съ пониженіемъ температуры скорость уменьшается; такъ, при 0^0 она составляетъ 1086,4. Противный вѣтеръ уменьшаетъ скорость звука, а попутный увеличиваетъ. Скорость звука въ другихъ газахъ иная, чѣмъ въ воздухѣ; она тѣмъ болѣе, чѣмъ газъ, при одинаковой упругости съ воздухомъ, имѣетъ меньшую плотность, и обратно; въ водородѣ, наприм., скорость звука болѣе, а въ углекисломъ газѣ меньше, чѣмъ въ воздухѣ.

Скорость звука въ жидкихъ и твердыхъ тѣлахъ значительно болѣе скорости звука въ воздухѣ. Такъ въ водѣ она въ 4 раза болѣе, а въ чугунѣ—въ $10^1/_2$ разъ.

Колладонъ и Штурмъ въ 1827 году опредѣлили скорость звука въ водѣ на Женевскомъ озерѣ. Звуки производились ударомъ молотка *m* по колоколу, спущенному съ судна въ воду (фиг. 652); одновременно дѣлали на суднѣ пороховой взрывъ; наблюдатель, находившійся въ 13 верстахъ на другомъ суднѣ, замѣчалъ появленіе свѣта и въ то же время старался услышать звонъ колокола при помощи слуховой трубы *oc*, погруженной однимъ концомъ въ воду.—Біо опредѣлилъ скорость звука въ чугунѣ. Изъ водопроводной трубы, длиною въ 931 метръ, была выпущена вода. Если ударяли по колокольчику, прикрѣпленному къ одному концу трубы, то наблюдатель, находившійся на другомъ концѣ, слышалъ два звука: одинъ, пришедшій по веществу трубы, другой—чрезъ воздухъ; первый приходилъ ранѣе на $2^1/_2$ секунды. Изъ этихъ данныхъ можно вычислить скорость звука въ чугунѣ.



Фиг. 652.

Звуки высокіе и низкіе распространяются съ одинаковою скоростью. Въ этомъ, между прочимъ, мы убѣждаемся, слушая издали музыкальную пьесу, исполняемую оркестромъ: въ какомъ бы разстояніи отъ оркестра мы ни находились, тоны, какъ высокіе, такъ и низкіе, достигаютъ до насъ въ одно время, потому что, въ противномъ случаѣ, тоны одного аккорда попали бы въ другой, а этого никогда не замѣчается.

То же выходитъ изъ опытовъ Біо: когда на одномъ концѣ трубы была исполняема на флейтѣ мелодія, то звуки достигали другого конца въ той же самой послѣдовательности, не отставая другъ отъ друга и не забѣгая впередъ, потому что мелодія передавалась безъ всякаго измѣненія.

Изслѣдованія Реньо показываютъ, что сильные звуки распространяются скорѣе слабыхъ.

468. Сила звука. Напряженность или сила звука зависитъ отъ *амплитуды* или *размаха* колеблющагося тѣла: съ увеличеніемъ размаха, увеличивается и сила звука. Если привесть въ дрожаніе упругую пластинку, то, по мѣрѣ уменьшенія размаха, ослабляется и сила звука.

Поверхность дрожащаго тѣла также оказываетъ вліяніе на силу звука: чѣмъ болѣе поверхность, тѣмъ больше масса воздуха, приведеннаго въ движеніе, и тѣмъ звуки сильнѣе; отъ того-то и происходитъ, что струна даетъ звуки гораздо слабѣе, нежели упругія пластинки. Когда дрожанія одного тѣла могутъ быть сообщены другому, котораго поверхность больше, то звуки усиливаются; такъ бываетъ напримѣръ, когда ножку камертона упираютъ въ столъ.

Сила звука зависитъ еще отъ плотности средины, въ которой онъ произведенъ: чѣмъ средина плотнѣе, тѣмъ болѣе напряженность звука. Звуки въ сгущенномъ воздухѣ передаются съ большею силою, нежели въ разрѣженномъ; поэтому, на высокихъ горахъ они весьма слабы [465] и изъ равнинъ достигаютъ до вершинъ высокихъ горъ, ослабляясь въ меньшей степени, нежели когда идутъ по противному направленію. Если проводить бородкой пера по одному концу длиннаго стержня, то на другомъ можно ясно слышать шелестъ, хотя непосредственно чрезъ воздухъ столь слабый звукъ не ощущается. Топотъ лошади, гроза и всякій другой шумъ слышатся на большемъ разстояніи, если приложить ухо къ землѣ, нежели чрезъ воздухъ. Если привязать серебряную ложку на двѣ нитки и концы ихъ приложить къ обоимъ ушамъ, закрывъ уши пальцами, то, ударяя ложкою по какому либо предмету, будемъ слышать звукъ, подобный звуку церковнаго колокола.

Изъ многихъ опытовъ выходитъ, что сила звука обратно пропорціональна квадрату разстоянія органа слуха отъ звучащаго тѣла.

Для объясненія этого закона, допустимъ, что дрожитъ только одна частица s (фиг. 651), производя около себя сферическія волны. Вообразимъ окружающій ее воздухъ разрѣзаннымъ на тонкіе сферическіе слои одинаковой толщины, которыхъ центръ совпадаетъ съ точкой s. Эти слои, одинъ за другимъ, приходятъ въ дрожаніе, но какъ масса каждаго изъ послѣдующихъ слоевъ болѣе массы предыдущихъ, то размахи, а, значитъ, и скорость дрожанія частицъ, съ удаленіемъ отъ звучащей точки s, уменьшаются, и звуки ослабѣваютъ.

Справедливость этого закона можетъ быть оправдана слѣдующимъ опытомъ. Въ полѣ, на совершенно открытой мѣстности, одинъ наблюдатель звонитъ въ колокольчикъ, а другой удаляется на такое разстояніе, чтобы не ощущать звуковъ. Потомъ, первый беретъ 4 колокольчика, а второй снова отходитъ на столько, чтобы звонъ ихъ не былъ слышенъ. Оказывается, что въ этомъ случаѣ разстояніе вдвое болѣе, нежели въ первомъ. Если взять 9 колокольчиковъ, то разстояніе будетъ втрое болѣе, и т. д.

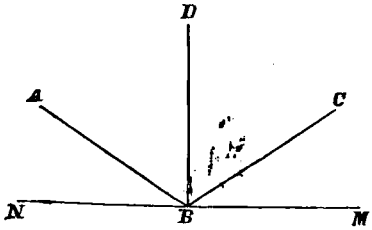
Предыдущій законъ не имѣетъ приложенія, если колебанія распространяются въ трубѣ одинаковой толщины по всей ея длинѣ; тогда звуки не ослабляются.

Это было подтверждено опытами Біо надъ пустой водопроводной трубой въ 931^m длины, въ Парижѣ. Самые слабые звуки, не сильнѣе тѣхъ, какіе производятъ говоря кому нибудь шепотомъ на ухо, пробѣгали съ одного до другого конца трубы безъ замѣтнаго ослабленія.

Этимъ пользуются при устройствѣ акустическихъ телеграфовъ въ обширныхъ зданіяхъ; звуки проводятся каучуковыми трубками, которыя на концахъ расширены. Здѣсь же должно искать причину того, что звуки передаются въ длинныхъ корридорахъ, съ одного конца на другой, почти безъ ослабленія.

Для объясненія этихъ явленій, раздѣлимъ мысленно воздухъ, заключенный въ трубѣ, на тонкіе, одинаковой толщины, слои, перпендикулярные къ длинѣ трубы. Каждый слой воздуха приводитъ въ дрожаніе смежный слой равной ему массы; поэтому, размахи частицъ во всѣхъ слояхъ должны быть одинаковы, и, слѣдовательно, сила звука не должна ослабѣвать; при этомъ не принимается во вниманіе незначительное уменьшеніе скорости воздушныхъ частицъ, употребляемое на приведеніе въ дрожаніе вещества самой трубы.

469. Отраженіе. Если звукъ встрѣчаетъ на пути преграду, то отскакиваетъ отъ нея, подобно упругому мячику, и идетъ уже по другому направленію, чѣмъ прежде. Это явленіе называется *отраженіемъ звука* и заключается въ слѣдующемъ. Пусть плоскость MN (фиг. 653) изображаетъ преграду, BD — къ ней перпендикуляръ, AB—направленіе или *лучъ звука*; звукъ отра-



Фиг. 653.

жается по направленію BC, такъ что AB, BD и BC лежатъ въ одной плоскости, и уголъ ABD равенъ углу CBD; первый называется *угломъ паденія* луча, а второй—угломъ *отраженія*. Поэтому, законъ отраженія звука выражается такъ: *уголъ паденія равенъ углу отраженія; лучи падающій и отраженный находятся въ одной плоскости съ перпендикуляромъ, возстановленнымъ изъ точки паденія луча*. Если на линіи CB находится ухо, то оно слышитъ звукъ такъ, какъ бы звучащее тѣло было на продолженіи этой линіи [332].

Эхо. Если отражающая поверхность находится отъ насъ въ значительномъ разстояніи, то мы можемъ получить звукъ непосредственно отъ звучащаго тѣла и, спустя нѣсколько времени—другой звукъ, отраженный. Такое явленіе называется *эхо*. Когда отражающая поверхность —противъ насъ, въ разстояніи 1118,4 ф., то все пространство, которое звукъ долженъ пробѣжать, будетъ 2236,8 ф., а потому мы услышимъ сказанное нами слово, спустя двѣ секунды. Многіе предметы, какъ горы, стѣны строеній и даже облака, могутъ отражать звуки; когда есть нѣсколько такихъ предметовъ, то эхо будетъ многократное. Такъ, близь Кобленца, на берегу Рейна есть мѣсто, гдѣ звукъ повторяется 17 разъ. Упоминаютъ также объ эхо, которое даетъ до 30 повтореній.

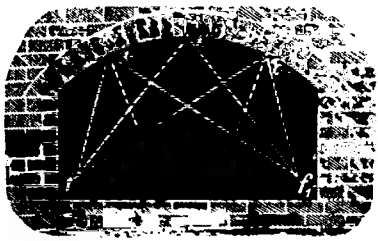
Резонансъ. Если отражающая поверхность не далеко, то отраженный звукъ приходитъ такъ скоро послѣ звука, полученнаго нами непосредственно отъ звучащаго тѣла, что не различается въ отдѣльности, а только увеличиваетъ продолжительность и силу непосредственнаго звука. Отъ этого, звуки въ зданіяхъ громче, чѣмъ на открытомъ воздухѣ. Въ храмахъ, обширныхъ залахъ и проч., звуки, отраженные отъ стѣнъ, потолка и другихъ поверхностей, сливаясь съ непосредственно произведенными и увеличивая ихъ напряженность, дѣлаютъ ихъ зато менѣе явственными; напротивъ, въ комнатахъ небольшихъ размѣровъ, звуки, не смотря на множество отраженій, остаются отчетливыми. Явленіе усиливанія звуковъ вслѣдствіе отраженія называется *резонансомъ*; когда оно замѣчается въ комнатѣ, то говорятъ, что комната имѣетъ резонансъ, или что звуки въ ней *отдаются*. Предметы мягкіе почти не отражаютъ звуковъ; поэтому, въ пустомъ залѣ резонансъ лучше нежели въ комнатахъ, имѣющихъ мягкую мебель, картины. драпри, ковры; въ этомъ случаѣ, звуки бываютъ слабые и отрывистые.

Говорная и слуховая трубы. На отраженіи звука основано устройство *рупора* или *говорной* трубы. служащей для усиливанія звуковъ. Она имѣетъ видъ конуса AB (фиг. 654) съ расширеніемъ D на концѣ. Въ отверстіе C говорятъ; тогда многіе звуки, которые безъ говорной трубы разсѣялись бы въ воздухѣ, теперь отразятся стѣнками

и пойдутъ по одному направленію. Слуховая труба есть превращенная говорная: къ уху прикладываютъ отверстіе C, а говорятъ въ другой конецъ трубы.

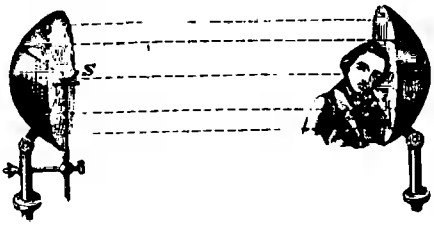
Впрочемъ, должно сознаться, что теорія говорныхъ и слуховыхъ трубъ до настоящаго времени не разработана: есть факты, прямо противорѣчащіе предложенному выше объясненію. Если напримѣръ внутренность трубы оклеить чѣмъ нибудь мягкимъ, то звуки отражаться не будутъ, а между тѣмъ усилятся. Причину усиленія звуковъ, кажется, надо искать въ расширеніи D.

Основываясь на отраженіи звука, можно дать такую кривизну потолку (фиг. 655), что звуковые лучи fa, fb, fc.... производимые въ опредѣленномъ мѣстѣ f залы, будутъ отражаться въ одну и ту же точку f_1, которая можетъ быть значительно удалена отъ первой, такъ что въ ней не будутъ слышны непосредственные звуки, а только отраженные отъ потолка. Два наблюдателя, помѣстясь въ точкахъ f и f_1, могутъ вести между собою бесѣду, которую не въ состояніи будетъ разобрать третій наблюдатель, находящійся между ними.



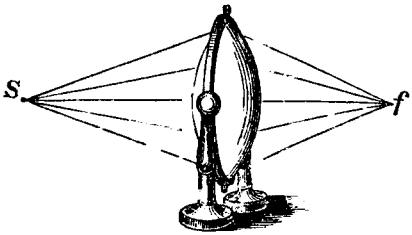
Фиг. 655.

Подобное явленіе можно произвести съ двумя параболическими зеркалами, которыхъ оптическія оси (фиг. 656) совпадаютъ, а разстояніе другъ отъ друга не менѣе 20 фут. [339, 418]. Если въ фокусѣ S одного зеркала расположить карманные часы, то въ фокусѣ O другого можно слышать бой маятника; но какъ скоро отойдемъ отъ фокуса O, звуки пропадаютъ.



Фиг. 656.

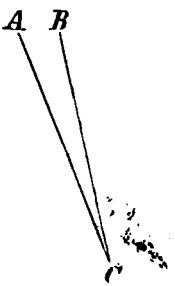
470. Преломленіе звука. Лучи звука, переходя изъ одной средины въ другую, преломляются подобно свѣту. Для доказательства, наполняютъ углекислымъ газомъ мѣшокъ изъ коллодіума и даютъ ему форму двояковыпуклой оптической чечевицы (фиг. 657); въ точкѣ S, на линіи, проходящей чрезъ центры сферическихъ поверхностей, помѣщаютъ часы; тогда въ нѣкоторой точкѣ f можно ясно слышать бой часовъ, между тѣмъ какъ въ окружающихъ точкахъ ничего подобнаго не замѣчается. Это могло произойти отъ того только, что лучи звука, преломясь въ чечевицѣ, собрались въ точкѣ f.



Фиг. 657.

471. Интерференція звука. *Интерференціею* звука называется такое его свойство, по которому два одинаковые звука, идущіе

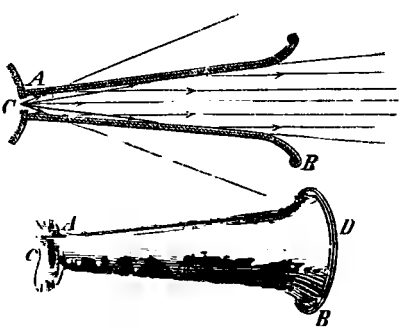
по одному, приблизительно, направленію, могутъ либо взаимно уничтожиться, либо дать звукъ болѣе сильный. Для объясненія сказаннаго, вообразимъ, что въ двухъ точкахъ A и B (фиг. 658) произведены два звука равной силы и равной высоты; при томъ, когда въ A сгущеніе, то и въ B сгущеніе, а когда въ A разрѣженіе, то и въ B разрѣженіе. Если бы случилось, что сгущенная часть волны, идущей отъ A, достигла C въ то же самое мгновеніе, какъ разрѣженная часть волны отъ B, или наоборотъ, то частица C осталась бы въ покоѣ и никакого бы звука не могло быть. Такое явленіе можетъ произойти, когда разстояніе AC болѣе BC на $^1/_2$ волны, или $1^1/_2$ волны, или $2^1/_2$, и т. д., словомъ, на нечетное число полуволнъ. Если сгущенныя или разрѣженныя части волнъ, идущихъ отъ A и B, достигаютъ C въ одно время, то частица C будетъ дѣлать размахи больше, нежели отъ дѣйствія каждой изъ этихъ двухъ волнъ въ отдѣльности, и звукъ усилится. Это можетъ быть только въ ту пору, когда разность линій AC и BC равна нулю или длинѣ одной волны, двухъ, трехъ и т. д., вообще четнаго числа полуволнъ.



Фиг. 658.

Интерференцію можно получить помощію камертона; если привесть его въ дрожаніе и двигать около уха, то будемъ слышать то усиливаніе, то ослабленіе звука, смотря по тому, какому числу полуволнъ равна разность разстояній дрожащихъ пластинокъ отъ органа слуха.

Опытъ удается лучше, если камертонъ, приведенный въ дрожаніе, держать предъ резонаторомъ Гельмгольца [487]; если разность разстояній обѣихъ ножекъ камертона отъ отверстія резонатора равна четному числу полуволнъ, то резонаторъ издаетъ звукъ; если та же разность равна нечетному числу полуволнъ, то звука не будетъ.



Фиг. 654.

Интерференцію можно производить не только звуками одной высоты, но и разной. Если натянуть двѣ струны не совсѣмъ въ униссонъ, чтобы волны были разной длины, то сила звука будетъ періодически измѣняться, потому что иногда къ уху будутъ приходить въ одно время сгущенныя или разрѣженныя части волнъ, а иногда сгущенія одной системы волнъ и разрѣженія другой.

Музыкальная гамма.

472. Діатоническая гамма. Когда тоны слѣдуютъ одинъ за другимъ, постепенно повышаясь, или понижаясь, то производятъ на насъ своею послѣдовательностью пріятное, или непріятное впечатлѣніе. Въ

первомъ случаѣ, слухъ по неизвѣстной причинѣ требуетъ, чтобы отношенія между числами колебаній тоновъ были нѣкоторыя постоянныя числа. Поэтому, въ музыкѣ употребляются не всякіе тоны; въ древности ихъ было весьма мало; въ настоящее время 7: *do, re, mi, fa, sol, la, si*, и 14 полутоновъ. Если примемъ число колебаній впродолженіе извѣстнаго времени, нужныхъ для произведенія тона *do*, за единицу, то числа колебаній слѣдующихъ высшихъ тоновъ выразятся такъ.

Тоны	*do,*	*re,*	*mi,*	*fa,*	*sol,*	*la,*	*si,*
Число колебаній .	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$.

При увеличиваніи числа колебаній какого нибудь тона въ два раза, получается тонъ *октавою* выше; если наприм. *mi* имѣетъ 160 колебаній, то октавное *mi* требуетъ 320, слѣдующая октава 640 и т. д. При уменьшеніи числа колебаній вдвое, получается нижняя октава.

Если тонъ *do* имѣетъ 522 колебанія, то прочимъ тонамъ будутъ соотвѣтствовать слѣдующія числа:

Тоны	*do,*	*re,*	*mi,*	*fa,*	*sol,*	*la,*	*si,*
Число колебаній	522,	$587\frac{1}{4}$,	$652\frac{1}{2}$,	696,	783,	870,	$978\frac{3}{4}$

Отношеніе чиселъ колебаній двухъ смежныхъ тоновъ называется *интерваломъ*; такъ, интервалъ между *do* и *re* есть $\frac{9}{8}$, между *re* и *mi* — $\frac{10}{9}$, между *mi* и *fa* — $\frac{16}{15}$; интервалы между прочими тонами выражаются тѣми же числами.

Полутоны бываютъ *діэзы* и *бемоли*; діэзомъ какого либо тона называется тонъ, котораго число колебаній равно $\frac{25}{24}$ числа колебаній перваго тона; бемоль тона соотвѣтствуетъ $\frac{24}{25}$ числа колебаній этого тона.

Если примемъ число колебаній тона *do* за 1, то діэзъ тона *re* выразится дробью $\frac{9}{8} \cdot \frac{25}{24} = \frac{75}{64}$, а бемоль того же тона — $\frac{9}{8} \cdot \frac{24}{25} = \frac{27}{25}$. Діэзъ какого либо тона и бемоль слѣдующаго высшаго тона весьма мало отличаются другъ отъ друга; такъ, разность чиселъ колебаній діэза *re* и бемоля *mi* менѣе $\frac{1}{35}$, что для уха едва замѣтно. Еще менѣе ощутительна разность между нѣкоторыми другими тонами и діэзами смежныхъ низшихъ тоновъ и бемолями высшихъ; на этомъ основаніи, въ тѣхъ музыкальныхъ инструментахъ, гдѣ нельзя получить всевозможныхъ измѣненій тона, употребляютъ, вмѣсто 14 полутоновъ, только 5, соотвѣтствующихъ чернымъ клавишамъ фортепіано. При этомъ, по необходимости, считаютъ тожественными діэзы нѣкоторыхъ тоновъ съ бемолями послѣдующихъ высшихъ (діэзъ *do* и бемоль *re*), или самые тоны съ бемолями высшихъ и діэзами низшихъ (*mi* и бемоль *fa*; *fa* и діэзъ *mi*). Чтобы ухо поражалось менѣе этою неправильностью, инструменты подстраиваютъ такъ, чтобы

получались средніе между близкими тонами. Но въ тѣхъ инструментахъ, гдѣ можно получить тоны всякой высоты, чрезъ укорачиваніе струны, или какъ нибудь иначе, никакіе тоны и полутоны между собою не смѣшиваются.

7 музыкальныхъ тоновъ съ ихъ полутонами, употребляемые въ современной музыкѣ, составляютъ такъ называемую *діатоническую гамму*.

473. Диссонансъ и гармонія. Два одновременные тона могутъ произвести на органъ слуха пріятное впечатлѣніе, называемое *гармоніей* (созвучіемъ), или непріятное впечатлѣніе—*диссонансъ*. Здѣсь замѣчается слѣдующій законъ: чѣмъ проще отношеніе между числами колебаній двухъ тоновъ, тѣмъ лучше *гармонія*; чѣмъ это отношеніе сложнѣе, тѣмъ сильнѣе *диссонансъ*. Слѣдующіе два ряда представляютъ простѣйшія числа:

$$1+\frac{1}{2},\ 1+\frac{1}{3},\ 1+\frac{1}{4},\ 1+\frac{1}{5} \text{ или } \frac{3}{2},\ \frac{4}{3},\ \frac{5}{4},\ \frac{6}{5}.$$

$$1,\ 2,\ 3,\ 4,\ 5,\ 6.$$

Если основной тонъ былъ *do*, то гармонирующими съ нимъ тонами по первому ряду будутъ *sol*, *fa*, *mi* и бемоль *mi*, а по второму—тотъ же самый тонъ или *униссонъ*, слѣдующая верхняя октава, *sol* слѣдующей октавы, *do*—чрезъ двѣ октавы, *mi*—третьей и т. д.

Всѣ тоны, у которыхъ отношеніе между числами колебаній есть число довольно сложное, даютъ непріятное впечатлѣніе; таковы тоны *do* и *re*, потому что упомянутое отношеніе есть $\frac{9}{8}$ — число довольно сложное. Еще большій диссонансъ даютъ тонъ съ его полутономъ.

Гармонію и диссонансъ могутъ дать не только два современные тона, но и большее число ихъ; самое простое отношеніе и вмѣстѣ наилучшую гармонію представляютъ тоны, которыхъ колебанія выражаются числами:

$$1,\ \frac{5}{4},\ \frac{3}{2},\ 2.$$

наприм. *do*, *mi*, *sol*, *do*.

474. Длина волнъ. Длина волнъ зависитъ отъ высоты звука и скорости, съ которой онъ распространяется въ воздухѣ, или другой срединѣ. Для примѣра возьмемъ самый низкій тонъ, употребляемый въ музыкѣ и соотвѣтствующій 32 колебаніямъ въ секунду, и найдемъ длину волны его въ воздухѣ. Когда звучащее тѣло сдѣлаетъ 32-е колебаніе, то первое колебаніе будетъ уже передано на разстояніе, равное скорости звука въ воздухѣ, то есть на 1118,4, ф.; слѣдовательно, на этомъ пространствѣ улягутся 32 волны, а потому длина каждой волны будетъ равна $\frac{1119,4}{32}=34,95$ фут. Такъ же найдемъ, что длина

волны самаго высокаго тона, употребляемаго въ музыкѣ и производимаго 16000 колебаніями въ секунду, равна 8,4 линіи. Подобнымъ образомъ можно опредѣлить длину волны всякаго другого тона.

Законы колебанія.

475. Разные способы производить тоны. *Музыкальные инструменты* отличаются одинъ отъ другого способомъ производить тоны: дрожатъ ли въ нихъ струны (гитара, скрыпка, арфа, фортепіано), металлическія пластинки (табакерки съ музыкой), перепонки (барабанъ, литавры), пружины (куранты); наконецъ, есть инструменты, въ которыхъ колеблется самый воздухъ (флейта, кларнетъ, разные роды трубъ); эти послѣдніе называются вообще духовыми инструментами.

476. Законы колебанія струнъ. Помощію математическаго анализа найдены для колебаній струнъ слѣдующіе законы, оправдываемые и опытомъ. При небольшихъ размахахъ струны, которой толщина мала относительно ея длины,

1) *Число колебаній струнъ, различающихся только длиною, обратно пропорціонально ихъ длинѣ*, то есть, если струна сдѣлается въ 2, 3, 4 раза длиннѣе, то число колебаній для одного и того же времени будетъ въ 2, 3, 4 раза менѣе; поэтому, чѣмъ короче струна, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, тѣмъ выше издаваемый ею тонъ.

Для разъясненія причины этого закона, замѣтимъ, что сила, приводящая струну въ движеніе, равна натянутости струны; слѣдовательно, въ двухъ струнахъ, одинаково натянутыхъ и различающихся только длиною, эта сила должна быть одна и та же, между тѣмъ какъ инерція у той изъ нихъ болѣе, которой масса болѣе.

Если примемъ длину струны, издающей тонъ *do*, за единицу, то на основаніи приведеннаго закона найдемъ для другихъ тоновъ такія числа [472]:

Тоны	*do*,	*re*,	*mi*,	*fa*,	*sol*,	*la*,	*si*.
Число колебаній .	1	$\frac{9}{8}$	$\frac{5}{4}$	$\frac{4}{3}$	$\frac{3}{2}$	$\frac{5}{3}$	$\frac{15}{8}$.
Длина струны . .	1	$\frac{8}{9}$	$\frac{4}{5}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{2}{3}$	$\frac{3}{5}$	$\frac{8}{15}$.

2) *Число колебаній двухъ струнъ, различающихся только степенью натянутости, прямо пропорціонально корню квадратному изъ силы натянутости струны.*

Дѣйствительно, такъ какъ струны предполагаются, по этому закону, равныхъ массъ, а сила, заставляющая частицы возвращаться въ положеніе равновѣсія, болѣе у той струны, которая больше натянута, то послѣдняя должна колебаться быстрѣе, нежели струна слабо натянутая.

Отсюда становится понятнымъ, почему тонъ повышается по мѣрѣ того, какъ струна натягивается.

3) *Число колебаній струнъ, при одинаковой ихъ длинѣ и той же натянутости, обратно пропорціонально корню квадратному изъ массы струны.*

Если масса одной струны болѣе массы другой, а силы, приводящія ихъ въ движеніе, равны (по причинѣ одинаковой натянутости струнъ), то первая струна должна и колебаться медленнѣе.

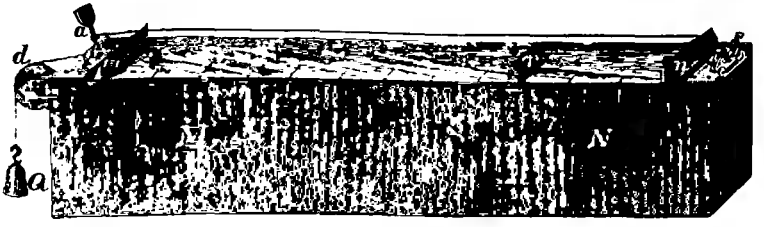
Отсюда слѣдуетъ, что чѣмъ тоньше струна, при одинаковыхъ прочихъ условіяхъ, тѣмъ выше долженъ быть издаваемый ею тонъ.

Упомянутые законы колебанія струнъ объяснены нами не вполнѣ,—мы только показали, что число колебаній струны возрастаетъ съ укорачиваніемъ струны, съ увеличиваніемъ силы натянутости и уменьшеніемъ массы; точное объясненіе возможно только при помощи высшаго анализа.

Замѣтимъ еще, что эти законы не вполнѣ подтверждаются опытомъ: число колебаній бываетъ всегда болѣе, нежели слѣдовало бы ожидать. Саваръ показалъ, что причина этому заключается въ несовершенной гибкости струны; чѣмъ струна гибче, тѣмъ ея колебанія лучше согласуются съ приведенными законами; таковы струны кишечныя. Струны металлическія болѣе отступаютъ отъ этихъ законовъ.

Законы колебаній струнъ можно оправдать на опытѣ посредствомъ монохорда, сирены и зубчатаго колеса.

477. Монохордъ. Монохордъ состоитъ изъ ящика MN (фиг. 659), на которомъ утверждены двѣ струны ab и dc. Первая ab утверждена въ b неподвижно, а въ a навернута на колокъ. Другая dc укрѣплена въ c, перекинута чрезъ блокъ d и натягивается гирею Q. Буква-



Фиг. 659.

ми m и n обозначены *кобылки* или подставки съ острыми ребрами; кромѣ того, надо имѣть еще третью короткую кобылку r, устанавливаемую подъ струною dc. Ящикъ MN служитъ для усиливанія звуковъ. На верхней доскѣ сдѣланы дѣленія.

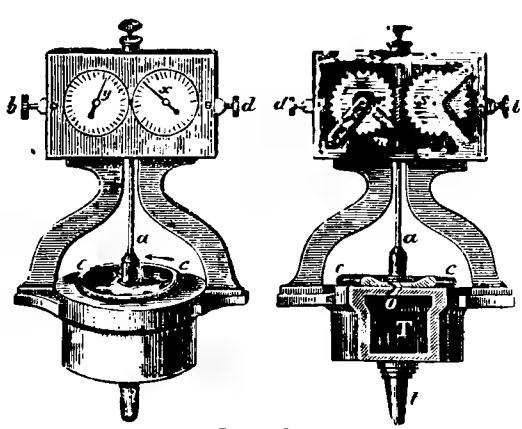
Струну ab натягиваютъ такимъ образомъ, чтобы она издавала какой нибудь тонъ, наприм. *do*, и заботятся, чтобы во все продолженіе опытовъ этотъ тонъ не измѣнялся, сравнивая его отъ времени до вре-

мени съ камертономъ, или какимъ нибудь музыкальнымъ инструментомъ. Къ струнѣ *dc* привѣшиваютъ грузы *Q*, пока она не будетъ настроена въ униссонъ съ *ab*. Потомъ, кобылкой *r* отдѣляютъ $^8/_9$ всей струны, т. е. чтобы длина струны между кобылками *m* и *r* равнялась $^8/_9$ длины той же струны между кобылками *m* и *n*. Такъ какъ натянутость и толщина этой струны остались тѣ же, то, на основаніи перваго закона колебанія струнъ, число колебаній должно увеличиться противъ прежняго въ $^9/_8$ раза, и часть *mr* струны издастъ тонъ *re*, что легко замѣтить по сравненію съ струною *ab*. Отдѣливъ $^4/_5$ струны *cd*, получимъ тонъ *mi*, $^3/_4$ дадутъ *fa* и т. д. Такимъ образомъ повѣряется первый законъ.

Если отдѣлить $^1/_2$ струны *dc*, то число колебаній увеличится въ 2 раза, и мы услышимъ тонъ *do*, на октаву выше; чтобы часть этой струны издавала униссонъ съ *ab*, надо уменьшить грузъ *Q* въ 4 раза. Устанавливая кобылку *r* въ другихъ мѣстахъ струны и приводя послѣднюю въ униссонъ съ *ab* чрезъ уменьшеніе груза *Q*, можно убѣдиться въ справедливости второго закона колебанія струнъ.

Наконецъ, замѣняя струну *dc* другою, болѣе тонкою, или толстою, сравнивъ предварительно ихъ вѣсъ, не трудно доказать и третій законъ.

478. Сирена. Посредствомъ *сирены*—прибора, изобрѣтеннаго Каньяръ-Латуромъ,—можно считать довольно точно число дрожаній, производимыхъ какимъ либо звучащимъ тѣломъ. На фигурѣ 660 сирена изображена съ двухъ противоположныхъ сторонъ. *T* есть металлическая круглая коробка, въ которую чрезъ трубку *t* вдуваютъ воздухъ. Крышка имѣетъ 20 или болѣе круглыхъ отверстій, расположенныхъ по окружности въ равномъ разстояніи другъ отъ друга. Массивный кружокъ *cc*, утвержденный на оси *a*, можетъ быть приведенъ струею воздуха въ быстрое вращательное движеніе; онъ лежитъ у самой крышки коробки *T*, но не касается ея—только ось *a* имѣетъ на ней точку опоры. Въ кружкѣ *cc* прорѣзаны отверстія въ томъ же числѣ, какъ и въ крышкѣ коробки *T*, и расположены по окружности той же величины. Обѣ окружности стоятъ одна подъ другой; центры ихъ находятся на оси *a*. Оба ряда отверстій прорѣзаны въ крышкѣ коробки *T* и кругѣ *cc* перпендикулярно къ радіусамъ окружностей, по

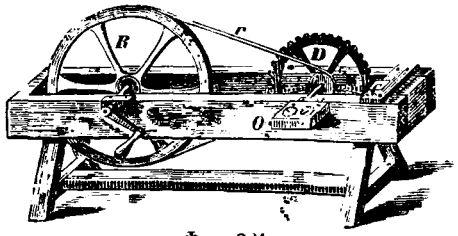


Фиг. 660.

которымъ отверстія расположены; отверстія нижнія наклонены въ противную сторону съ верхними, какъ это показано на фигурѣ въ O, гдѣ сдѣлано вертикальное сѣченіе двухъ, лежащихъ одно надъ другимъ, отверстій. Воздухъ, вдуваемый чрезъ трубку t, получаетъ въ нижнихъ отверстіяхъ наклонное направленіе и, ударяясь въ стѣнки верхнихъ отверстій, заставляетъ кружокъ cc вращаться около оси. При этомъ верхнія отверстія попеременно становятся то надъ нижними отверстіями, то противъ ихъ промежутковъ. Въ первомъ случаѣ, воздухъ изъ коробки T свободно выходитъ наружу, во второмъ —задерживается. Вытекающая струя газа должна быть упруже окружающей среды, потому что иначе теченіе было бы невозможно; движеніе частицъ воздуха надъ отверстіями круга cc будетъ, вслѣдствіе пріобрѣтенной скорости, продолжаться даже въ ту пору, когда отверстія въ крышкѣ цилиндра T закроются, а потому надъ отверстіями круга cc, вслѣдъ за сгущеніемъ, послѣдуетъ разрѣженіе. Такимъ образомъ, при вращеніи круга cc, получается въ атмосферѣ система звуковыхъ волнъ. Число волнъ для какого либо промежутка времени, очевидно, равно числу оборотовъ колеса cc, помноженному на число его отверстій.—Число оборотовъ считаетъ самъ приборъ. Для этого, ось a имѣетъ винтовые нарѣзы, захватывающіе зубцы колеса r, которое отъ этого, вмѣстѣ съ стрѣлкой x, вращается около оси. Циферблатъ, по которому движется стрѣлка x, имѣетъ 100 дѣленій, изъ которыхъ каждое означаетъ одинъ оборотъ колеса cc. Пластинка m, придѣланная къ колесу r, поворачиваетъ, при каждомъ полномъ оборотѣ стрѣлки x, на одинъ зубецъ колесо s и соединенную съ нимъ стрѣлку y на одно дѣленіе другого циферблата. Такимъ образомъ, стрѣлка y указываетъ сотни оборотовъ колеса cc, а x—десятки и единицы. Наконецъ, прибавимъ, что колесо r, вмѣстѣ съ верхнею частію прибора, можно отодвинуть, посредствомъ пуговокъ b и d, отъ винтовыхъ нарѣзовъ оси a.

Если хотятъ измѣрить число колебаній, напримѣръ струны, то, отодвинувъ колесо r отъ винта оси a и поставивъ обѣ стрѣлки на нуль, вдуваютъ въ сирену, посредствомъ мѣховъ, воздухъ; звукъ становится все выше и выше, и когда онъ достигнетъ униссона со струною, то стараются, нажимая слабѣе или сильнѣе на мѣхи, поддерживать тонъ на одной высотѣ. Потомъ, приводятъ, помощію пуговокъ b и d, колесо r въ прикосновеніе съ винтомъ оси a и замѣчаютъ по хронометру время. По прошествіи нѣсколькихъ минутъ, напримѣръ 5, отодвигаютъ колесо r отъ винта. Пусть стрѣлка y показываетъ 43 дѣленія, а x—64. Тогда число оборотовъ колеса cc будетъ равно $43 . 100+64$. Помноживъ это на 20, число отверстій, найдемъ число волнъ 87280, произведенныхъ въ 5 мин. или 300 сек. Наконецъ, раздѣливъ 87280 на 300, получимъ почти 291 — число, означающее, сколько волнъ произведено въ 1 сек. сиреною, или струною, ибо та и другая издавали одинъ и тотъ же тонъ.

479. Зубчатое колесо. Волны можно считать еще посредствомъ зубчатаго колеса D (фиг. 661), приводимаго во вращательное движеніе помощію безконечнаго ремня r и колеса R съ рукояткой. Противъ зубцевъ утверждаютъ игральную карту C, которая, будучи отклоняема отъ положенія равновѣсія ударами зубцовъ, стремится каждый разъ принять свой прежній



Фиг 661.

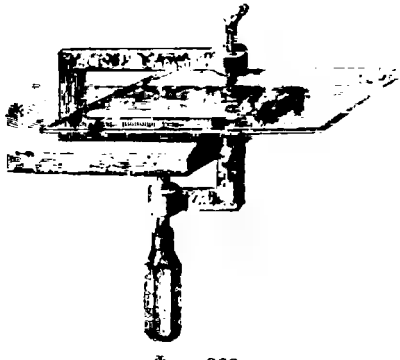
видъ и приходитъ такимъ образомъ въ дрожаніе. Число этихъ дрожаній при одномъ оборотѣ колеса D равняется числу зубцовъ. Въ O находится счислитель со стрѣлками, на подобіе счислителя въ сиренѣ, показывающій число оборотовъ колеса D.

480. Узловыя точки. Натянутая струна AB (фиг. 662), приведенная въ дрожаніе, можетъ раздѣлиться на нѣсколько равныхъ частей, изъ которыхъ каждыя двѣ смежныя Aa, ab, bB колеблятся въ противныя стороны, между тѣмъ какъ точки дѣленія a и b остаются въ покоѣ; онѣ называются *узлами* или *узловыми точками*. Въ существованіи ихъ можно убѣдиться такъ. Если произвести музыкальный тонъ вблизи монохорда, и если какая нибудь изъ равныхъ долей струны, напримѣръ треть, можетъ издавать тотъ же самый тонъ, то струна раздѣлится на три части, дрожащія въ противныя стороны. Если размѣстить по струнѣ бумажки формы K, то онѣ, при дрожаніи струны, свалятся и останутся только на узлахъ a и b. Можно произвести то же явленіе еще иначе. Раздѣляютъ кобылкой струну монохорда на двѣ части такъ, чтобы меньшая укладывалась цѣлое число разъ въ большей, наприм. 4 раза; потомъ, меньшую приводятъ въ дрожаніе; тогда бо́льшая часть струны раздѣлится тремя узлами на четыре равныя части, которыя будутъ дрожать въ противныя стороны, производя въ 5 разъ большее число колебаній, чѣмъ можетъ дать цѣлая струна.

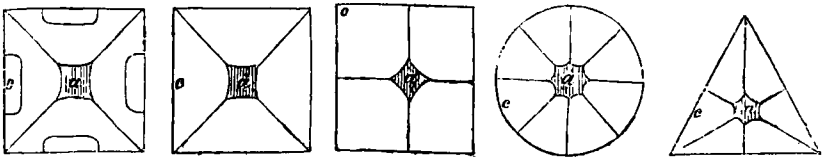
Фиг. 662.

481. Колебаніе упругихъ пластинокъ. Упругая пластинка, укрѣпленная неподвижно въ одной точкѣ, будучи выведена изъ положенія равновѣсія смычкомъ, или какъ нибудь иначе, начинаетъ дрожать. Число колебаній, а, слѣдовательно, и высота звука, зависитъ отъ величины и вещества пластинки; съ уменьшеніемъ ея размѣровъ, число колебаній увеличивается.

Пластинка можетъ дрожать или вся, или частями, такъ что каждыя двѣ смежныя части колеблятся въ противныя стороны, а линіи, ихъ разграничивающія, остаются въ покоѣ; эти линіи называются *узловыми*. Для доказательства, стеклянную пластинку mn (фиг. 663) привинчиваютъ въ a, посредствомъ станка AB, къ чему нибудь неподвижному; потомъ, посыпавъ на пластинку мелкаго песку, проводятъ по одному изъ ея краевъ смычкомъ; тогда съ дрожащихъ частей песокъ соскакиваетъ на узловыя линіи, образуя разныя фигуры, которыхъ видъ зависитъ отъ точки укрѣпленія, размѣровъ и формы пластинки и высоты произведеннаго звука.


Фиг. 663.

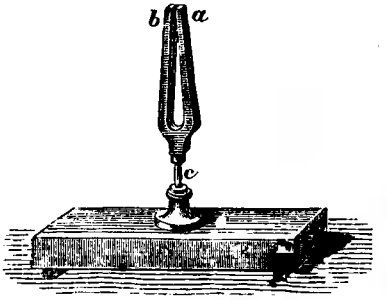
На фигурѣ 663_1 показаны нѣкоторые виды узловыхъ линій на пластинкахъ: квадратной, круглой и треугольной; *a* означаетъ точку опоры, *c*—ту точку пластинки, по которой проводятъ смычкомъ. Измѣняя точку прикрѣпленія, или касаясь пальцемъ одной изъ дрожащихъ частей, можно получить иныя кривыя



Фиг. 663_1.

линіи. Вообще должно замѣтить, что каждому тону, который можно извлечь изъ данной пластинки, соотвѣтствуетъ особенная система узловыхъ линій. Чѣмъ выше тонъ, тѣмъ фигура сложнѣе. Эти фигуры называются *хладніевыми*, по имени открывшаго ихъ физика Хладни.

482. Камертонъ. *Камертонъ или диапазонъ* состоитъ изъ двухъ пластинокъ *a* и *b* (фиг. 664), прикрѣпленныхъ къ ножкѣ *c*; если эти пластинки сжать и потомъ предоставить самимъ себѣ, то онѣ станутъ колебаться, издавая извѣстный тонъ. Камертонъ служитъ для настраиванія музыкальныхъ инструментовъ. Прежде каждое государство имѣло свой камертонъ, но въ 1856 году на международномъ конгрессѣ принято употреблять только одинъ общій камертонъ, именно такой, который издаетъ *la* съ 870 колебаніями въ секунду *).



Фиг. 664.

483. Колебаніе воздуха въ трубахъ. Духовые инструменты состоятъ изъ трубъ, въ которыхъ заставляютъ колебаться самый воздухъ. Здѣсь наблюдается слѣдующій законъ:

Число колебаній обратно пропорціонально длинѣ трубы и не зависитъ отъ прочихъ обстоятельствъ, какъ напр. вещества и толщины стѣнокъ трубы. Если поперечное сѣченіе весьма мало относительно длины трубы, то число колебаній не зависитъ также и отъ площади сѣченія, но когда сѣченіе велико, то, съ возрастаніемъ его, число колебаній уменьшается.

Самый низкій тонъ, употребляемый въ музыкѣ, соотвѣтствующій 32 колебаніямъ въ секунду, даетъ труба длиною въ 17,5 фута, если она открыта съ обѣихъ сторонъ. Трубы, закрытыя съ одной стороны, даютъ тоны октавою ниже.

Все сказанное относится только къ *основному* тону, то есть самому низкому, который труба извѣстной длины можетъ произвести. Кромѣ основного тона, труба можетъ дать еще нѣкоторые другіе; если она открыта съ обѣихъ сторонъ, то число колебаній этихъ тоновъ пропорціонально натуральнымъ числамъ: 2, 3, 4, 5, 6...: въ закрытыхъ съ одной стороны—нечетнымъ числамъ: 3, 5,

*) Принятъ въ Россіи въ 1878 г.

7,... Если напр. самый низкій тонъ, производимый открытой съ обоихъ концовъ трубой, имѣетъ 300 колебаній въ секунду, то та же труба можетъ дать тоны соотвѣтственно числамъ: 600, 900, 1200... На произведеніе того или, другого изъ такихъ тоновъ оказываетъ вліяніе способъ вдуванія, а также толщина стѣнокъ трубы: трубы съ тонкими стѣнками не даютъ обыкновенно основного тона. При этомъ труба дѣлится на части узловыми плоскостями, на которыхъ воздухъ остается въ покоѣ: чѣмъ больше узловыхъ плоскостей, тѣмъ тонъ выше.

Воздухъ въ трубахъ приводится въ движеніе или вдуваніемъ (охотничій и пастушескій рога), или тѣмъ, что дуютъ мимо отверстія (флейта), или, наконецъ, колеблющеюся пластинкою, которую называютъ язычкомъ (гобой, кларнетъ). Въ большей части духовыхъ инструментовъ, для укорачиванія столба колеблющагося воздуха и, слѣдовательно, для повышенія тона, сдѣланы отверстія, закрываемыя клапанами, или пальцами играющаго.

484. **Отзывчивость.** Представимъ себѣ двѣ струны, A и B, и предположимъ, что онѣ способны издавать одинъ и тотъ же тонъ; если одну изъ нихъ, наприм. A, привести въ дрожаніе, то звуковыя волны достигаютъ другой струны B, и она начинаетъ дрожать въ униссонъ съ струною A. Если струна B издаетъ тонъ болѣе низкій, чѣмъ струна A, но можетъ быть раздѣлена узловыми точками на такія равныя части, которыя даютъ униссонъ съ A, то эти части также придутъ въ дрожаніе, и струна B будетъ звучать въ униссонъ съ A. Напротивъ, когда струна B, или ея части не могутъ издавать тона одинаковаго съ A, то дрожанія струны A не вызываютъ дрожаній въ струнѣ B.—Это свойство, принадлежащее не только струнамъ, но и всякимъ звучащимъ тѣламъ, называется *отзывчивостію*; оно весьма легко наблюдается на фортепіано, въ которомъ надо для этого поднять педаль, чтобы струны были свободны. Фортепіано способно отзываться на звуки всякой высоты, потому что содержитъ большое количество струнъ; кромѣ того, каждая струна можетъ раздѣлиться на большее или меньшее число частей; чѣмъ эти части менѣе, тѣмъ выше издаваемый ими тонъ. Если надъ открытымъ фортепіано произвести сильный звукъ, то нѣкоторыя струны приходятъ въ дрожаніе, а прочія остаются въ покоѣ.— Всякій струнный инструментъ представляетъ подобное явленіе, хотя и не столь ясно.

Если у отверстія открытой трубы произвести одинъ изъ тоновъ, которые можно извлечь изъ той же трубы чрезъ вдуваніе въ нее воздуха [483], то она начинаетъ звучать въ униссонъ съ произведеннымъ тономъ, и звукъ усиливается. Впрочемъ, широкія и короткія трубы усиливаютъ не только тѣ тоны, которые онѣ способны издавать, но и сосѣдніе. Можно сдѣлать такую широкую и короткую трубу, что она будетъ усиливать всякіе тоны.

Перепонка (изъ пергамента, бумаги, пузыря и проч.), въ надлежащей мѣрѣ натянутая, отзывается на всякіе тоны, раздѣляясь узловыми линіями на большее или меньшее число частей.

485. Дека. Для усиливанія звука въ музыкальныхъ инструментахъ, употребляется *дека*; это есть деревянная, обыкновенно сосновая, доска съ тонкими параллельными жилками, служащая покрышкой или дномъ ящику, котораго высота весьма мала относительно прочихъ размѣровъ. Воздухъ, заключенный въ такомъ ящикѣ, можетъ быть приведенъ въ дрожаніе всякимъ звукомъ, который чрезъ то усилится [484]; кромѣ того, дрожитъ сама дека въ униссонъ съ произведеннымъ тономъ, раздѣляясь, соотвѣтственно его высотѣ,

на большее или меньшее число частей, изъ которыхъ каждая дрожитъ отдѣльно [481]. Колебанія стѣнокъ ящика также имѣютъ въ этомъ случаѣ нѣкоторое значеніе. Звукъ еще болѣе усиливается отъ дрожанія струекъ деки, которой нарочно даютъ неправильный видъ, чтобы струйки имѣли разную длину, и чтобы каждая изъ нихъ приводилась въ дрожаніе соотвѣтственнымъ тономъ [484].

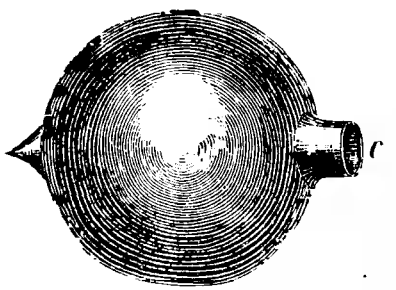
Чтобы усилить звукъ камертона, его упираютъ во что нибудь твердое или прикрѣпляютъ къ ящику, котораго стѣнки вмѣстѣ съ воздухомъ, заключеннымъ въ ящикѣ, приходятъ въ дрожаніе (фиг. 664).

486. Второстепенные тоны. Тонъ, издаваемый струною, приведенною въ дрожаніе смычкомъ, или какъ нибудь иначе, всегда сопровождается еще другими тонами, которые называются *второстепенными* или *гармониками* и находятся въ слѣдующей зависимости отъ главнаго. Если число колебаній главнаго тона примемъ за 1, то число колебаній второстепенныхъ тоновъ выразится рядомъ натуральныхъ чиселъ: 2, 3, 4, 5, 6. . . . Пусть основной тонъ есть *до*; условимся подписывать подъ названіями тоновъ разсматриваемой октавы нумеръ 1, слѣдующей высшей — 2, и т. д.; тогда тоны, издаваемые въ одно время струною, будутъ: $до_1$, $до_2$, sol_2, $до_3$, mi_3, sol_3... Нѣкоторымъ числамъ никакого тона въ діатонической гаммѣ не соотвѣтствуетъ; таковы числа: 7, 11 и другія. По причинѣ слабости гармоникъ относительно главнаго тона, мы ихъ обыкновенно не слышимъ; но при нѣкоторомъ вниманіи можно ихъ съ большею или меньшею легкостью различить. Такъ, на віолончели и даже на фортепіано легко замѣтить sol_2 и mi_3.

Для объясненія гармоникъ, допускаютъ, что когда струна дрожитъ, то дрожитъ не только она вся, но и ея части: половины, трети, четверти, пятыя доли и т. д. Такъ какъ число колебаній обратно пропорціонально длинѣ струны, то половины даютъ вдвое болѣе колебаній, чѣмъ цѣлая струна, трети—въ три раза, четверти—въ четыре и т. д. Справедливость этого объясненія можно подтвердить опытомъ. Струну монохорда, натянутую такъ, чтобы она издавала тонъ *до*, приводятъ въ дрожаніе и потомъ осторожно касаются середины струны; тогда дрожанія цѣлой струны замолкаютъ, и мы ясно слышимъ тонъ октавою выше. Если коснуться трети, то легко замѣтить sol_2; если отдѣлить прикосновеніемъ пальца $^1/_4$ струны, то будемъ слышать только $до_3$ и т. д.

Гармоники наблюдаются при всякомъ звукѣ, но тогда онѣ находятся въ другой зависимости отъ главнаго тона, чѣмъ въ случаѣ струнъ.

487. Резонаторы. Резонаторы имѣютъ назначеніе усиливать звуки. Резонаторъ Гельмгольца имѣетъ видъ полаго мѣднаго шара (фиг. 665) съ двумя отверстіями: широкое *C* обращается къ звучащему тѣлу, другое узкое *O* прикладывается къ уху; подобный шаръ опредѣленной величины способенъ отзываться и усиливать одинъ только тонъ нѣкоторой высоты: чѣмъ тонъ ниже, тѣмъ шаръ долженъ быть больше.



Фиг 665.

Резонаторы, между прочимъ, употребляются для распознаванія гармоникъ, сопровождающихъ какой либо звукъ. Вблизи звучащаго тѣла помѣщаютъ резонаторъ, способный издавать только одинъ опредѣленный тонъ; если есть такой же тонъ въ числѣ гармоникъ наблюдаемаго звука, то этотъ тонъ усилится, и мы будемъ его слышать. Подобнымъ способомъ даже въ шумѣ можно открыть музыкальные тоны, которые при непосредственномъ наблюденіи незамѣтны.

488. Звонкость. Каждый звукъ, кромѣ его высоты и силы, имѣетъ еще одно качество, по которому мы можемъ отличить какой либо звукъ отъ множества другихъ; такъ мы безъ труда распознаемъ звуки, произведенные скрыпкой, отъ звуковъ флейты, или человѣческаго голоса. Это свойство названо, довольно неудачно, *звонкостью;* иные называютъ *оттѣнкомъ*, *тембромъ* и *цвѣтомъ звука*. Наше ухо въ отношеніи тембра чрезвычайно чувствительно; мы отличаемъ голосъ извѣстнаго намъ человѣка между сотнями другихъ и нерѣдко признаемъ забытаго нами знакомаго, котораго мы не встрѣчали многіе годы, только по тембру его голоса.

Изслѣдованія германскаго ученаго Гельмгольца показали, что тембръ зависитъ отъ гармоникъ, сопровождающихъ основной тонъ, и ихъ относительной силы. Приборъ, которымъ онъ пользовался, состоялъ изъ 8 камертоновъ, расположенныхъ вблизи резонаторовъ, запираемыхъ до большей или меньшей степени клапанами; движеніе клапановъ управлялось клавишами. Камертоны приводились въ постоянное дрожаніе помощію электромагнитовъ; но когда отверстія резонаторовъ закрывались, то звуки были весьма слабы. Надавливая на клавиши съ опредѣленною силою, усиливали до надлежащей степени нѣкоторые тоны. Самый большой камертонъ издавалъ тонъ *si* въ 122 колебанія; если назовемъ этотъ тонъ чрезъ si_1, то прочіе тоны были:

$$si_1,\ si_2,\ fa_3,\ si_3,\ re_4,\ fa_4,\ la_4\ \textit{діэзъ},\ si_4.$$

Сочетая тѣ или другіе тоны и усиливая одни преимущественно предъ другими помощію резонаторовъ, Гельмгольцъ получилъ звуки разныхъ оттѣнковъ.

Чрезъ смѣшеніе звуковъ, тому же ученому удалось произвести тембры гласныхъ буквъ. Такъ, *А* получается посредствомъ сочетанія тоновъ: si_1, fa_3, re_4, fa_4, la_4 *діэзъ;* тонъ fa_3 долженъ быть слабъ. Гласная *И* заключаетъ: слабый si_1, еще слабѣе si_2 и fa_3, очень сильный si_3 и нѣсколько слабѣе re_4. Гласная *У* производится чрезъ si_1 и весьма слабый fa_3.

Если надъ открытымъ фортепіано произнести громко гласную букву, то нѣкоторыя струны начинаютъ дрожать; сочетаніе издаваемыхъ ими музыкальныхъ тоновъ воспроизводитъ въ совершенствѣ ту же букву, — даже съ сохраненіемъ тембра голоса.

Составъ гласныхъ буквъ весьма мало изслѣдованъ. Однѣ изъ нихъ, какъ напримѣръ *ш*, *с*, *ф*, и проч., состоятъ изъ многихъ весьма высокихъ тоновъ, между собою не гармонирующихъ. Другія же, напримѣръ *б*, *п*, *т*, представляютъ только начало и конецъ согласныхъ (*ба*, *аб*). Происхожденіе ихъ, вѣроятно, зависитъ отъ неодновременнаго возникновенія или исчезанія гармоникъ, характеризующихъ гласную букву: если къ гласной буквѣ приставляютъ въ началѣ согласную (*ба*), то гармоники, свойственныя гласной буквѣ, являются не разомъ, и порядокъ ихъ возникновенія характеризуетъ согласную букву; если согласная приставляется въ концѣ гласной буквы (*аб*), то порядокъ потуханія гармоникъ также зависитъ отъ согласной.

Изъ всего вышесказаннаго выходитъ:

Если бы гармоники, сопровождающія звуки, были съ точностію опредѣлены, а законы дрожанія были вполнѣ извѣстны, то придавъ ту или другую форму звучащему тѣлу и приготовивъ его изъ надлежащаго вещества, можно было бы построить такой снарядъ, который воспроизводилъ бы всякаго цвѣта звуки, не исключая человѣческой рѣчи. Такъ какъ эти законы почти неизвѣстны, то вопросъ остается нерѣшеннымъ. Практика опередила науку и достигла уже весьма важныхъ результатовъ: существуютъ церковные органы, весьма близко подражающіе музыкальнымъ инструментамъ и даже человѣческому голосу.

Человѣческая рѣчь сопровождается огромнымъ количествомъ гармоникъ. Каждая изъ гласныхъ буквъ и особенно нѣкоторыя согласныя содержатъ множество тоновъ разной высоты. Самыя измѣненія голоса, вызываемыя внутренними движеніями: радостью, гнѣвомъ, печалью и проч., нельзя иначе объяснить какъ сочетаніемъ гармоникъ. Не смотря на такую сложность, практика пошла и здѣсь впереди научныхъ изысканій. Въ настоящее время, пользуются всеобщей извѣстностью *фонографъ* и *телефонъ*, два снаряда, воспроизводящіе человѣческую рѣчь довольно явственно, особенно телефонъ, хотя и не столь хорошо, какъ обыкновенно думаютъ: нѣкоторыя согласныя, напримѣръ *ш* и *ф*, совершенно не воспроизводятся; цвѣтъ голоса не сохраняется. Съ бо́льшимъ совершенствомъ дѣйствуетъ перепонка, примѣненная въ игрушкѣ, называемой *нитянымъ* или *дѣтскимъ телефономъ*. Двѣ перепонки изъ пузыря слабо натягиваютъ на рамки. Затѣмъ, берутъ тонкую и крѣпкую нить не болѣе 10—15 саженей длины; одинъ конецъ ея закрѣпляютъ въ серединѣ одной перепонки, другой конецъ—въ серединѣ другой перепонки. Двое берутъ каждый по перепонкѣ и отходятъ другъ отъ друга, на такое разстояніе, чтобы нить была сильно натянута. Нить должна быть перпендикулярна къ перепонкамъ. Надлежащимъ образомъ натянутая перепонка способна прійти въ дрожаніе отъ всякаго звука. Дрожанія перепонки передаются нити и возбуждаютъ въ ней *продольныя* дрожанія, подобныя дрожаніямъ воздуха въ трубѣ (фиг. 647). Дрожанія нити сообщаются второй перепонкѣ, и она издаетъ такой же звукъ, какой былъ произведенъ у первой перепонки. Какъ бы ни былъ сложенъ звукъ, перепонка отзывается на всѣ его гармоники и почти безъ ослабленія и измѣненія передаетъ ихъ, при помощи нити, второй перепонкѣ, если нить не слишкомъ длинна. Поэтому, всякій звукъ, всякое слово, сказанное даже шепотомъ у одной перепонки, слышны у другой, съ сохраненіемъ тембра. Чѣмъ длиннѣе нить, тѣмъ звуки слабѣе.

О работѣ силъ.

489. Понятіе о работѣ. *Работать* значитъ преодолѣвать какое нибудь препятствіе или сопротивленіе. Въ самомъ дѣлѣ, чтобы мы ни работали, всегда приходится побѣждать то или другое сопротивленіе; если нѣтъ сопротивленія, то не можетъ быть и работы. Распиливая бревно, мы встрѣчаемъ сопротивленіе въ твердости дерева; чѣмъ тверже дерево, тѣмъ труднѣе его пилить. мягкое дерево—пилить легче. Когда лошадь везетъ возъ по горизонтальной дорогѣ, то должна предолѣвать треніе колесъ объ оси и дорогу; чѣмъ меньше треніе, тѣмъ легче работа лошади; если бы тренія совсѣмъ не было, то не было

бы и работы, потому что возъ, приведенный въ движеніе, двигался бы только вслѣдствіе инерціи. Чтобы привести въ движеніе покоющееся тѣло, или остановить движущееся, надо преодолѣть, кромѣ тренія и другихъ сопротивленій. еще инерцію; чѣмъ менѣе масса тѣла, тѣмъ менѣе сопротивленіе инерціи.

Чтобы упростить послѣдующее изложеніе, мы разсмотримъ сопротивленіе инерціи позднѣе отдѣльно, и начнемъ съ движенія равномѣрнаго и прямолинейнаго, въ которомъ инерція не измѣняетъ величины работы.

Работа поднятія. Работа, состоящая въ поднятіи груза по вертикальному направленію, равномѣрнымъ движеніемъ, представляетъ простѣйшій видъ работы. Противодѣйствіе тогда равно вѣсу подымаемаго груза.

Примемъ, за единицу работы, работу, состоящую въ поднятіи одного пуда на высоту одного фута, и будемъ называть ее *пудофутомъ*. Чтобы поднять 2 пуда на высоту фута, надо совершить работу, вдвое бо́льшую, т. е. 2 пудофута. Работа поднятія p пуд. на высоту 1 фута будетъ равна p пудофутамъ. Чтобы p пудовъ поднять еще на 1 футъ, надо совершить также p пудофутовъ работы. Вообще, работа поднятія p пуд. на высоту h футовъ равна ph пудофутамъ. Отсюда выходитъ, что одна и та же работа можетъ выражать поднятіе различныхъ грузовъ; такъ, работа въ 60 пудовъ равна поднятію 15 пуд. на 4 фута, или 4 пуда на 15 футовъ, или 1 пудъ на 60 футовъ и т. д.

Кромѣ пудофута, употребительны еще *фунтофутъ* или работа, состоящая въ поднятіи фунта на высоту фута, и *килограмметръ* — поднятіе килограмма на метръ.

Фиг. 666.

490. Работа при равномѣрномъ и прямолинейномъ движеніи. Всякую работу можно выразить поднятіемъ груза. Пусть напр. тѣло M (фиг. 666) приведено въ движеніе по горизонтальной плоскости. Если бы не было сопротивленій, то отъ одного толчка тѣло двигалось бы равномѣрно; но, вслѣдствіе встрѣчаемыхъ имъ препятствій, скорость будетъ уменьшаться. Чтобы движеніе осталось равномѣрнымъ, необходимо къ тѣлу приложить силу P, которая бы преодолѣвала силу R, равную суммѣ всѣхъ сопротивленій. Вмѣсто силы R, можно вообразить грузъ p, который привязанъ къ веревкѣ, перекинутой чрезъ блокъ d и прикрѣпленной къ тѣлу M. Если пространство, пройденное тѣломъ, есть h, то работа силы P будетъ равна Ph или ph, потому что при равномѣрномъ движеніи обѣ силы P и p должны быть равны. Когда тѣло нужно подымать равномѣрнымъ движеніемъ по наклонной плоскости, то силу P надо увеличить составляющею вѣса, параллельною длинѣ наклонной плоскости.

Фиг. 667.

Когда пилятъ бревно (фиг. 667), то сумму сопротивленій, испытываемыхъ зубцами пилы, можно замѣнить грузомъ p, который долженъ быть равенъ силѣ, движущей пилу. Поэтому, работу здѣсь можно выразить чрезъ ph, гдѣ h есть пространство, пройденное пилою.

Механическою) работой называютъ произведеніе Ph*, т. е. *произведеніе силы P на пространство h, пройденное точкою ея приложенія по направленію силы.* Если направленіе силы не совпадаетъ съ направленіемъ движенія, то *рабо-*

*) Въ отличіе отъ работы *умственной* или *духовной*.

тою называется $PhCosd$, т. е. произведеніе силы на пространство, пройденное точкою ея приложенія, и на косинусъ угла d, образованнаго направленіями силы и движенія *).

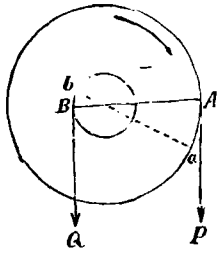
Различаютъ работу *двигателя* и работу *сопротивленія*, разумѣя подъ этими терминами произведеніе изъ силы (или двигателя) на пространство, пройденное точкою ея приложенія, и произведеніе сопротивленія на пространство, пройденное точкою его приложенія.

491. Теорема. *При равномѣрномъ и прямолинейномъ движеніи работа двигателя равна работѣ сопротивленія.*

Когда сила приложена къ тѣлу непосредственно, то теорема очевидна. Такъ, при движеніи тѣла по горизонтальной плоскости (фиг. 666) необходимо, чтобы

$$P=R, \text{ и, слѣдовательно, } Ph=Rh.$$

Обыкновенно сила дѣйствуетъ на тѣло посредствомъ машинъ; но какъ каждая машина, какъ бы она сложна ни была, можетъ быть разложена на простыя, то справедливость упомянутой теоремы нужно доказать только для простыхъ машинъ.



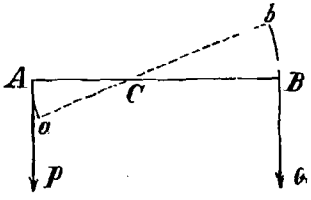
Фиг. 668.

Разсмотримъ вопервыхъ воротъ.

Допустимъ, что сила P уравновѣшивается грузомъ Q (фиг. 668); если при томъ никакого сопротивленія движенію нѣтъ, и мы сообщили вороту толчекъ въ сторону силы P, то воротъ придетъ во вращательное и равномѣрное движеніе, а точки приложенія силъ P и Q опишутъ въ нѣкоторое время дуги Aa и Bb. Но извѣстно, что [75]

$$P.Aa=Q.Bb.$$

Итакъ, принимая силу P за двигателя, а Q за сопротивленіе, находимъ, что работа двигателя равна работѣ сопротивленія.



Фиг. 669.

Пусть параллельныя силы P и Q (фиг. 669) уравновѣшиваются на рычагѣ AB. Если сопротивленій движенію нѣтъ, и рычагу дали толчекъ, то произойдетъ вращеніе въ сторону одной изъ силъ, наприм. P. Тогда имѣемъ [60]:

$$P.Aa=Q.Bb,$$

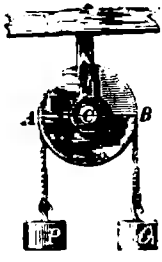
что согласно съ теоремою.

Въ случаѣ неподвижнаго блока (фиг. 670),

$$P=Q.$$

Такъ какъ пространства, пробѣгаемыя точками приложенія обѣихъ силъ, равны, то, назвавъ эти пространства чрезъ a, получимъ:

$$Pa=Qa.$$



Фиг. 670.

Въ подвижномъ блокѣ (фиг. 671) имѣемъ [72];

$$P(AA'+CC')=Q\,.\,BB'.$$

---

*) По этому опредѣленію, работа сопровождается всегда движеніемъ; давленіе, производимое силою, безъ движенія, не считается работою.

Подобнымъ образомъ можно доказать упомянутую теорему для зубчатыхъ колесъ и безконечнаго ремня.

Когда силы, дѣйствующія на рычагъ, не параллельны, а въ воротѣ, блокѣ, зубчатыхъ колесахъ не перпендикулярны къ радіусамъ, то всѣ предыдущія алгебрическія выраженія надо умножить на косинусы угловъ, образованныхъ направленіями силъ и направленіями движеній; теорема имѣетъ мѣсто только относительно составленныхъ такимъ образомъ произведеній.

Работа силы S (фиг. 672), которая заставила пробѣжать безъ тренія грузъ Q всю длину EK наклонной плоскости, снизу вверхъ, равна $S \,.\, EK$. Препятствуетъ этому движенію не вся сила Q, а только часть ея P, параллельная длинѣ наклонной плоскости и равная S. Поэтому, въ случаѣ равномѣрнаго движенія,

$$S \,.\, EK = P \,.\, EK.$$

Но извѣстно, что [78]

$$P \,.\, EK = Q \,.\, EF;$$

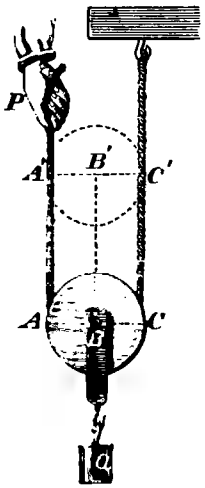
слѣдовательно,

$$S \,.\, EK = Q \,.\, EF.$$

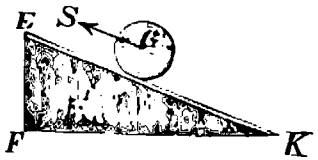
Такъ какъ $EF = EK \operatorname{Cos} FEK$, то

$$S \,.\, EK = Q \,.\, EK \,.\, \operatorname{Cos} FEK,$$

то есть работа $S \,.\, EK$ двигателя S равна работѣ $Q \,.\, EK \operatorname{Cos} FEK$ сопротивленія Q.



Фиг. 671.



Фиг. 672.

Изъ доказанной нами теоремы выходитъ:

Малою силою можно, помощію машинъ, преодолѣть произвольно большую силу и представить всякую работу подъ разными видами; напримѣръ поднятіе 4 пуд. на высоту 15 футовъ можно замѣнить поднятіемъ 10 пуд. на высоту 6 фут. и проч., но *увеличить работу никакимъ сочетаніемъ машинъ невозможно.*

492. Работа полезная и вредная. Работа сопротивленія можетъ быть *полезная* и *вредная*; первою называется та, которую имѣется въ виду произвести, напримѣръ поднять грузъ; вторая всегда сопровождаетъ первую и преодолѣвается по необходимости; таковы: треніе, сопротивленіе средины и проч. Пусть напримѣръ въ воротѣ гири P и Q (фиг. 668) уравновѣшиваются. Если бы не было сопротивленія, то отъ одного толчка въ сторону силы P, грузы Q и P получили бы равномѣрное движеніе: первый по направленію снизу вверхъ, второй—наоборотъ. Но вслѣдствіе тренія оси о подставку, несовершенной гибкости веревки и проч., движеніе будетъ замедленное; чтобы сдѣлать его равномѣрнымъ, должно взять другую силу P_1, больше силы P. Назвавъ равнодѣйствующую всѣхъ сопротивленій чрезъ q и прилагая ее къ точкѣ B, будемъ имѣть:

$$P_1 \,.\, Aa = Q \,.\, Bb + q \,.\, Bb,$$

т. е. работа двигателя равна суммѣ работъ сопротивленій: полезной и вредной. То же равенство справедливо для всѣхъ другихъ машинъ. Такимъ образомъ, на практикѣ *работа двигателя всегда бываетъ болѣе работы полезнаго сопротивленія.* Машина считается тѣмъ болѣе совершенною, чѣмъ менѣе въ ней вредныхъ сопротивленій.

Изъ предыдущаго выходитъ, что нелѣпо изобрѣтать такую машину (perpetuum mobile), которая бы, разъ приведенная въ движеніе, двигалась вѣчно, безъ участія непрерывной силы.

493. Измѣреніе силы работою. Въ понятіе о работѣ не входитъ время: одно и то же количество механической работы считается равнозначащимъ, въ какой бы промежутокъ времени—большой или малый—она ни была произведена. Поэтому, одна работа не даетъ еще понятія о величинѣ силы, которая совершила эту работу: сила прямо пропорціональна произведенной ею работѣ и обратно пропорціональна времени, въ которое совершена эта работа, потому что, при уменьшеніи продолжительности времени работы, потребуется сила съ бо́льшимъ напряженіемъ, чтобы произвести ту же работу. Для паровыхъ машинъ за единицу берутъ силу, способную произвести работу, равную 15 пудофутамъ въ секунду, и называютъ ее *паровою лошадью* [227].

494. Работа инерціи. Когда тѣло движется неравномѣрно, то къ работѣ сопротивленій присоединяется работа инерціи. Разсмотримъ простѣйшій случай, когда тѣло движется по прямой линіи, подъ вліяніемъ постоянной силы, не встрѣчая никакихъ сопротивленій. Такъ какъ дѣйствіе равно противодѣйствію [37], то движущая сила должна быть равна сопротивленію инерціи. Слѣдовательно, вмѣсто того, чтобы разыскивать работу инерціи, мы можемъ искать работу силы, потому что обѣ работы должны быть равны. Назвавъ постоянную силу чрезъ F, а пространство, пройденное точкою ея приложенія, чрезъ h, найдемъ, что искомая работа выражается числомъ

$$Fh.$$

Такъ какъ въ этомъ случаѣ движеніе будетъ равномѣрно ускоренное, то, обозначивъ ускореніе чрезъ a и предположивъ, что сначала тѣло было въ покоѣ, найдемъ:

$$v = \sqrt{2ah},$$

гдѣ v означаетъ скорость, которую пріобрѣло тѣло пробѣжавъ пространство h подъ вліяніемъ силы F; отсюда

$$h = \frac{v^2}{2a};$$

подставивъ на мѣсто h равное ему количество въ произведеніи Fh, получимъ:

$$Fh = F\,\frac{v^2}{2a}.$$

Но такъ какъ [455] $F = ma$, гдѣ m—масса тѣла, то

$$Fh = \frac{mv^2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (F)$$

Количество $\frac{mv^2}{2}$, то есть половина произведенія изъ массы на квадратъ скорости, называется *живою силою*. Итакъ, *работа инерціи, если тѣлу сообщена скорость v, равна живой силѣ.*

Если сила заставила тѣло пройти пространство h_1, при чемъ тѣло пріобрѣло скорость v, то соотвѣтствующая работа Fh_1 выразится такъ:

$$Fh_1 = \frac{mv_1^2}{2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (F_1)$$

Вычитая выраженіе (F) изъ выраженія (F_1), найдемъ:

$$F\,(h_1 - h) = \frac{mv_1^2}{2} - \frac{mv^2}{2}.$$

$F(h_1-h)$ выражаетъ работу силы F, когда точка ея приложенія прошла пространство (h_1-h). Итакъ, вообще, *работа инерціи равна приращенію живой силы*. Для примѣра опредѣлимъ работу инерціи, или равную ей работу пороховыхъ газовъ въ дулѣ орудія, если снарядъ въ 2 пуда вѣсу получилъ скорость 2000 футовъ;

$$\frac{mv^2}{2}=\frac{{}^2/_{32},{}^2}{2}\cdot(2000)^2=124360 \text{ подофут.}$$

Чтобы остановить движущееся тѣло, надо сдѣлать работу, равную работѣ инерціи. Если человѣкъ вѣсомъ въ 4 пуда бѣжитъ со скоростью 12 фут. въ секунду, то, чтобы остановить его, надо сдѣлать работу почти въ 9 пудофутовъ.

Состоношеніе между теплотой и механической работой.

495. Переходъ механической работы въ теплоту и обратно. Многочисленные опыты и наблюденія доказываютъ слѣдующій замѣчательный законъ: 1) если уничтожается по какой либо причинѣ механическая работа, то освобождается теплота; 2) когда производимъ работу, то исчезаетъ нѣкоторое количество теплоты *).

Въ доказательство приведемъ нѣсколько убѣдительнѣйшихъ опытовъ и сначала тѣ, изъ которыхъ выходитъ первая часть закона.

Когда тѣло двигается и встрѣчаетъ какое нибудь сопротивленіе, какъ треніе, сопротивленіе средины и проч., то скорость уменьшается, а, значитъ, часть той работы, которая была употреблена, чтобы привести это тѣло въ движеніе,—уничтожается; на мѣсто уничтоженной работы, освобождается теплота. Такъ, ядро, двигаясь въ воздухѣ, замѣтно дѣлается теплѣе, а аэролиты накаливаются столь сильно, что горятъ въ кислородѣ воздуха. Оси, при быстромъ вращеніи на нихъ колесъ, скоро нагрѣваются, особенно когда онѣ не смазаны жирнымъ веществомъ для уменьшенія тренія. Два деревянные бруска при треніи другъ о друга могутъ загорѣться. Теплотою, производимою треніемъ, можно даже пользоваться для отапливанія вмѣсто горючаго матеріала, какъ напр. въ машинѣ Бомона и Мейера [231]. Треніемъ же можно привести въ кипѣніе воду (фиг. 301).

Чтобы сгустить воздухъ въ закрытомъ со всѣхъ сторонъ сосудѣ, нужно совершить механическую работу, которая, уничтожаясь сопротивленіемъ воздуха, возвышаетъ его температуру. На этомъ основано устройство воздушнаго огнива.

---

*) Законъ этотъ былъ открытъ Майеромъ; чтобы понять его надлежащимъ образомъ, надо умѣть съ ясностью различать работу *производимую* отъ работы *уничтожаемой*. Слѣдующіе примѣры даютъ возможность легко постигнуть это различіе. Чтобы поднять грузъ на нѣкоторую высоту, надо *произвести* работу. Если поднятый нами грузъ будетъ спущенъ въ прежнее положеніе, то наша работа *уничтожится*. Чтобы опять поднять грузъ на прежнюю высоту, снова потребуется совершить такую же работу, какъ и въ первый разъ. Когда мы пилимъ бревно, то производимъ работу, которая тотчасъ же уничтожается сопротивленіемъ дерева. Пороховые газы, образующіеся въ артиллерійскомъ орудіи, приводятъ своею упругостью ядро въ движеніе; здѣсь работаетъ упругость газа, и работа состоитъ въ преодолѣваніи инерціи ядра. Когда ядро, достигнувъ преграды, остановится, то работа, совершенная газами, уничтожится.

Въ подтвержденіе второй части упомянутаго закона, то есть когда производятъ работу, то исчезаетъ теплота,—приводимъ слѣдующія явленія.

Паровыя машины имѣютъ назначеніе производить работу; при этомъ исчезаетъ теплота, освобождаемая горючимъ матеріаломъ. Если опредѣлить съ одной стороны количество тепла, уносимаго паромъ изъ парового котла, а съ другой — количество тепла, которое приноситъ паръ въ холодильникъ, то окажется, что первое количество болѣе второго; недостающее количество теплоты исчезло. По наблюденіямъ Гирна надъ одной машиной Уата въ 106 лошадиныхъ силъ, исчезала $\frac{1}{10}$ всей теплоты, которую паръ уносилъ изъ котла.

Фиг. 673.

Вообразимъ цилиндръ (фиг. 673), закрытый снизу дномъ, а сверху поршнемъ, и содержащій сжатый воздухъ. Чтобы удержать воздухъ отъ расширенія, положимъ на поршень множество маленькихъ гирекъ. Станемъ снимать съ поршня гирьки, одну за другой. Вмѣстѣ съ тѣмъ, воздухъ мало по малу начнетъ расширяться и подвигать поршень съ оставшимися гирьками. Здѣсь воздухъ производитъ работу, на которую тратитъ свою собственную теплоту, и поэтому охлаждается. Отсюда понятно, почему сгущенный газъ, выпускаемый изъ резервуара, сильно охлаждается; работа его заключается въ преодолѣваніи давленія атмосферы.

Слѣдующіе опыты также служатъ подтвержденіемъ упомянутаго закона о переходѣ теплоты въ работу и обратно.

Если выкачиваемъ воздухъ изъ-подъ колокола воздушнаго насоса, то мы совершаемъ только часть той работы, которая нужна для выдвиганія поршня *); другая часть производится расширяющимся, подъ колоколомъ воздушнаго насоса, воздухомъ, и температура его понижается. — Если, напротивъ, впускать воздухъ подъ колоколъ воздушнаго насоса, гдѣ уже было произведено разрѣженіе, то внѣшній воздухъ, входя подъ колоколъ, сжимаетъ находящійся тамъ воздухъ и, значитъ, производитъ работу; работа его здѣсь уничтожается, и вмѣсто нея освобождается теплота, которая возвышаетъ температуру воздуха въ колоколѣ.

Джоулъ взялъ два равныхъ мѣдныхъ шара, соединенныхъ трубкой, которая запиралась краномъ. Въ одномъ онъ сгустилъ воздухъ до 22 атмосферъ, а изъ другого вытянулъ воздухъ и, когда оба шара приняли температуру среды, кранъ былъ открытъ. Скоро въ обоихъ шарахъ упругость газа сдѣлалась равною 11 атмосф., причемъ температура перваго понизилась, а второго на столько же возвысилась, такъ что количество тепла въ обоихъ шарахъ осталось то же самое. Изъ этого, конечно, не слѣдуетъ заключать, что здѣсь не было никакой механической работы, но, сколько было ея произведено при расширеніи воздуха въ первомъ шарѣ, столько же потеряно, когда воздухъ, входящій во вто-

*) Сила, употребляемая нами при этомъ, равна разности давленій на поршень насоса извнѣ и извнутри (не принимая во вниманіе тренія).

рой шаръ, преодолѣвалъ такъ упругость газа. Тотъ же опытъ былъ повторенъ въ томъ же порядкѣ, съ тою только разницею, что второй резервуаръ былъ наполненъ водою; впущенный воздухъ въ этотъ резервуаръ долженъ былъ выгонять воду и преодолѣвать большее противъ прежняго сопротивленіе; тогда произошло пониженіе температуры. Количество теплоты Джоулъ опредѣлялъ, погружая весь приборъ въ калориметръ съ водою.

Наконецъ, явленія тренія, сжатія, расширенія, удара и проч. [231, 232. 233] подтверждаютъ тотъ же законъ.

496. Механическій коэффиціентъ теплоты. Отношеніе между количествами исчезнувшей теплоты и произведенной чрезъ то работы, или между количествами уничтоженной работы и освобожденной теплоты,—есть число совершенно опредѣленное и постоянное для всѣхъ случаевъ. *Механическимъ коэффиціентомъ* или *эквивалентомъ теплоты* называется число единицъ работы, производимыхъ потерею единицы тепла, или число единицъ работы, которыя, уничтожаясь, освобождаютъ единицу теплоты. Эквивалентъ теплоты найдется, если сосчитать съ одной стороны число единицъ потерянной или произведенной работы, съ другой соотвѣтственно—число единицъ образовавшейся или утраченной теплоты; это можно исполнить разными способами.

Джоулъ съ этою цѣлью накачивалъ воздухъ въ резервуаръ.

Для вычисленія употребленной на то работы, замѣтимъ, что послѣ каждаго качанія поршня, упругость увеличивается на одну и ту же величину; при томъ, по причинѣ малой емкости цилиндра нагнетательнаго насоса въ сравненіи съ объемомъ резервуара, можно было допустить, что поршень, при каждомъ своемъ движеніи сверху до низу, преодолѣваетъ одно и то же давленіе. Назвавъ чрезъ P сопротивленіе, испытываемое поршнемъ со стороны упругости сжимаемаго воздуха во время перваго качанія, и чрезъ S пространство, пробѣгаемое поршнемъ, найдемъ, что работа, потраченная на первое качаніе, равна PS. Обозначивъ чрезъ p возрастаніе сопротивленія послѣ каждаго качанія, получимъ для второго, третьяго и т. д. колебаній соотвѣтственно работы:

$$(P+p)S,\ (P+2p)S,\ (P+3p)S.....$$

Джоулъ сдѣлалъ 300 качаній. Назвавъ общую работу чрезъ L, получимъ:

$$L=PS+(P+p)S+(P+2p)S+.....+P_1S,$$

гдѣ P_1 есть послѣднее наибольшее сопротивленіе, испытываемое поршнемъ. Замѣчая, что полученное выраженіе есть ариѳметическая прогрессія, найдемъ:

$$L=300\,\frac{P+P_1}{2}S.$$

Если измѣрена поверхность поршня и опредѣлена упругость воздуха въ резервуарѣ до опыта и послѣ, то легко выразить P и P_1 въ единицахъ вѣса.

Количество тепла Джоулъ опредѣлилъ калориметромъ, состоящимъ изъ ящика, наполненнаго водою, въ которую погружали резервуаръ для сжатія воздуха и нагнетательный насосъ; зная вѣсъ и температуру воды до и послѣ опыта, можно вычислить Q—количество освободившейся теплоты. Это количество означаетъ не только теплоту, которая произошла отъ сгущенія воздуха, но и отъ тренія поршня о стѣнки цилиндра. Это послѣднее количество, которое обозначимъ чрезъ q, надо найти изъ особаго опыта и вычесть изъ Q, или придать къ L работу, потраченную на преодолѣваніе тренія; но опредѣ-

ленiе этой работы чрезвычайно затруднительно; слѣдовательно, остается только одно средство—искать q. Для этого должно повторить опытъ, оставляя резервуаръ открытымъ, чтобы воздухъ не сгущался. Освободившаяся въ калориметрѣ теплота будетъ происходить только отъ тренія и, слѣдовательно, равна q. Такимъ образомъ, работа L, уничтожаясь, производитъ $Q-q$ теплоты, а потому механическій коэффиціентъ тепла равенъ $\frac{L}{Q-q}$. Джоулъ нашелъ этимъ способомъ 444 килограмметра, гдѣ за единицу тепла принято то его количество, которое нужно, чтобы нагрѣть одинъ килограммъ воды на 1° по термометру Цельсія.

Изъ многихъ другихъ опытовъ, произведенныхъ тѣмъ же ученымъ и иными, найдены были числа близкія къ предыдущему, но не тожественныя. Эти разности должно отнести частію къ погрѣшностямъ наблюденій, частію къ тому обстоятельству, что всегда вычисляютъ только внѣшнюю работу, а внутреннюю, заключающуюся въ преодолѣваніи сцѣпленія частицъ, мы не умѣемъ взять во вниманіе. Механическій эквивалентъ принимаютъ равнымъ 424 килограмметрамъ. Переводя это на русскія единицы мѣры, найдемъ 34,8 пудофута, то есть количество тепла, потребное для нагрѣванія одного фунта воды на 1° цельсіева термометра, способно поднять 1 пудъ на высоту 34,8 футовъ.

Фиг. 674.

Слѣдующій выводъ механическаго коэффиціента теплоты принадлежитъ Персону. Обозначимъ чрезъ p, α и c соотвѣтственно вѣсъ одного кубическаго фута воздуха при 0° и обыкновенномъ давленіи, коэффиціентъ расширенія и теплоемкость при постоянномъ объемѣ. Пусть газъ заключенъ въ цилиндръ, закрытый невѣсовымъ поршнемъ M (фиг. 674), котораго площадь равна квадратному футу. Давленіе R, испытываемое поршнемъ, съ обѣихъ сторонъ будетъ одно и то же. Нагрѣемъ газъ на 1°, не дозволяя ему расширяться; на это нужно истратить cp единицъ тепла, гдѣ p должно быть выражено въ фунтахъ. Еслибы мы газъ нагрѣвали отъ 0° до 1°, не мѣшая поршню двигаться, то потребовалось бы тепла $c'p$, гдѣ c'—теплоемкость воздуха при постоянномъ давленіи. Замѣтимъ, что c', какъ извѣстно, болѣе c, а потому и $c'p>cp$. Разность въ теплотѣ происходитъ отъ того, что во второмъ случаѣ сдѣлана внѣшняя механическая работа, заключающаяся въ преодолѣваніи давленія наружнаго воздуха; эта работа равна αR, а какъ на нее употреблено $c'p-cp$ единицъ теплоты, то механическій эквивалентъ выразится чрезъ

$$\frac{\alpha R}{(c'-c)p}$$

Въ случаѣ воздуха, надо положить $\alpha=0{,}00368$, $R=57{,}96$ пуда, $c=0{,}1686$, $c'=0{,}2377$ и $p=9{,}2$ золот. $=\frac{9{,}2}{96}$ фунта; тогда найдемъ для эквивалента тепла около 33.

Указанный пріемъ способенъ дать выводы надежные, потому что здѣсь весь излишекъ теплоты тратится почти только на внѣшнюю механическую работу. Къ сожалѣнію, къ числу $c=0{,}1686$ нельзя имѣть большого довѣрія, по причинѣ несовершенства пріемовъ, служащихъ для опредѣленія этой величины.

497. **Приложенія.** Изъ отношенія между механической работой и теплотой выходятъ многія любопытныя слѣдствія.

При ударѣ тѣла въ неподвижную преграду, или вообще при остановкѣ отъ какой бы то ни было причины, количество освобождающейся теплоты измѣряется живой силой [494] $\frac{mv^2}{2}$, гдѣ подъ m надо разумѣть отношеніе вѣса тѣла къ ускоренію. Слѣдовательно, количество тепла прямо пропорціонально вѣсу тѣла и квадрату уничтоженной скорости. Если артиллерійскій снарядъ 30 фунт. вѣса, двигающійся со скоростью 2000 фут. въ секунду, будетъ остановленъ неподвижнымъ предметомъ, то уничтожится механическая работа, равная живой силѣ $\frac{1}{2} \cdot \frac{30}{40} \cdot \frac{(2000)^2}{32,2}$, что приблизительно составляетъ 46584 пудофута.

Раздѣливъ это число на механическій эквивалентъ 34,8, найдемъ, что въ разсматриваемомъ случаѣ должно освободиться 1339 единицъ тепла. Если ядро въ 30 фунтовъ сдѣлано изъ желѣза, котораго теплоемкость приблизительно равна 0,11, то для нагрѣванія всей его массы на 1° потребуется 3,3 единицъ тепла. Поэтому, раздѣливъ 1339 на 3,3 и допустивъ, что теплота безъ потери передалась ядру, найдемъ, что его температура поднялась бы на 406°. Еслибы артиллерійскій снарядъ имѣлъ скорость при ударѣ въ 2 раза больше, то теплоты освободилось бы въ 4 раза болѣе, и ядро нагрѣлось бы на 1624°.

Подобнымъ образомъ можно доказать, что, еслибы по какому либо случаю земля была остановлена на своей орбитѣ, то освободилось бы такое количество тепла, которое въ состояніи было бы обратить бо́льшую часть земныхъ веществъ въ парообразное состояніе.

Чтобы поднять камень въ 1 пудъ вѣсомъ на 34,8 фут. высоты, надо совершить работу 34,8 пудофута, или истратить единицу теплоты. Обратно, если камень того же вѣса упадетъ съ той же высоты, то освободится единица теплоты, или же этимъ паденіемъ можно совершить 34,8 единицъ работы. Вообще, всякая масса, поднятая на высоту, представляетъ запасъ механической работы или эквивалентнаго количества теплоты, какъ напримѣръ текучая вода, которою пользуются или для произведенія работы (мельницы, лѣсопильни), или теплоты (теплородный снарядъ Мейера и Бомона).—Способность тѣла совершить механическую работу называется его *энергіей*. Камень, лежащій на горѣ, содержитъ больше энергіи, нежели тотъ же камень у подошвы горы. Движущееся ядро содержитъ болѣе энергіи, нежели ядро покоющееся.

Человѣкъ совершаетъ работу на счетъ своей собственной теплоты. Потраченная теплота возобновляется усиленнымъ дыханіемъ, и при томъ въ большемъ количествѣ, чѣмъ тратится на работу; отъ этого, во время работы мы согрѣваемся.

498. **Механическая гипотеза теплорода.** Превращеніе механической работы въ теплородъ и обратно—теплорода въ работу—привело къ особенной гипотезѣ, удовлетворительно объясняющей всѣ явленія тепла и названной *механической гипотезой теплорода*. По этой гипотезѣ, теплородъ есть дрожательное или поступательное движеніе матеріальныхъ частицъ: количество его пропорціонально суммѣ живыхъ силъ; возвышеніе температуры

пропорціонально приращенію этой суммы. Движеніе частицъ, сообщаемое нашему тѣлу, производитъ на насъ впечатлѣніе, которое неизвѣстнымъ способомъ преобразовывается въ ощущеніе тепла, подобно тому, какъ дрожательное состояніе воздушныхъ частицъ возбуждаетъ въ насъ ощущеніе звука.

Частицы всѣхъ тѣлъ, находясь въ постоянномъ движеніи, приводятъ въ движеніе эфиръ, помѣщенный въ междуатомныхъ пространствахъ; послѣдній сообщаетъ свои движенія эфиру внѣшнему, который уже заставляетъ двигаться эфиръ, заключенный между частицами другихъ тѣлъ, и самыя частицы. Такимъ образомъ, становится понятнымъ переходъ тепла въ видѣ лучей чрезъ большія разстоянія. Теплопроводность объясняется тѣмъ, что матеріальная частица тѣла, приведенная въ движеніе, приводитъ въ движеніе смежныя частицы.

Если тѣло подвергается удару, или испытываетъ треніе со стороны другого, то потраченная механическая работа употребляется на увеличеніе скорости частицъ тѣла или, что все равно, на возбужденіе теплоты, подобно тому, какъ отъ тренія смычка происходятъ колебанія струны. Когда газъ чрезъ расширеніе производитъ механическую работу, то температура его понижается, потому что часть живой силы движенія частицъ преобразовывается въ механическую работу. Когда, напротивъ, газъ сдавливаютъ, то внѣшняя работа употребляется на увеличеніе живой силы частицъ газа, и температура его возвышается. Отсюда же объясняется, почему количество утраченной теплоты находится въ опредѣленномъ отношеніи къ произведенной работѣ, и почему механическая работа можетъ преобразоваться въ теплородъ, котораго количество находится въ постоянномъ отношеніи съ работой.

Чтобы расплавить фунтъ льду при 0°, не измѣняя его температуры, надо сообщить ему 79 единицъ теплоты. Такъ какъ эта теплота исчезаетъ, то на мѣсто ея должно явиться соотвѣтственное количество работы, именно 34,8×79 пудофутовъ. Итакъ, чтобы превратить фунтъ льда въ воду, надо произвести работу, равную 34,8×79 пудофутовъ, то есть поднятію одного пуда на высоту 2749,2 фут. Въ чемъ состоитъ эта работа, неизвѣстно. Вѣроятно, выше 0°, то движеніе, которое имѣли частицы льда, становится невозможнымъ; частицы начинаютъ двигаться иначе, принимая такого рода движеніе, которое свойственно частицамъ воды. Во всякомъ случаѣ, необходимо допустить, что живая сила частицъ воды болѣе живой силы частицъ льда. Иначе сказать: энергія воды болѣе энергіи льда при одной и той же температурѣ. При плавленіи льда, вся теплота, притекающая ко льду, употребляется только на увеличеніе живой силы его частицъ, безъ измѣненія температуры. Когда обратно вода при 0° обращается въ ледъ, нѣкоторыя движенія частицъ воды становятся невозможными; живая сила, соотвѣтствующая этому движенію, уничтожается и обращается въ теплоту. Вообще, чтобы расплавить какое бы то ни было твердое тѣло, или обратить пары въ жидкость, надо произвести нѣкоторую механическую работу, состоящую въ увеличеніи живой силы частицъ; напротивъ, при переходѣ пара въ жидкость, или жидкости въ твердое состояніе, часть живой силы частицъ уничтожается, а на мѣсто ея освобождается теплота. Такимъ образомъ, по механической гипотезѣ, теплота при плавленіи и кипѣніи не *скрывается*, а исчезаетъ, а при оживленіи и отвердѣваніи, не *освобождается изъ скрытаго состоянія*, а происходитъ изъ уничтоженной работы.

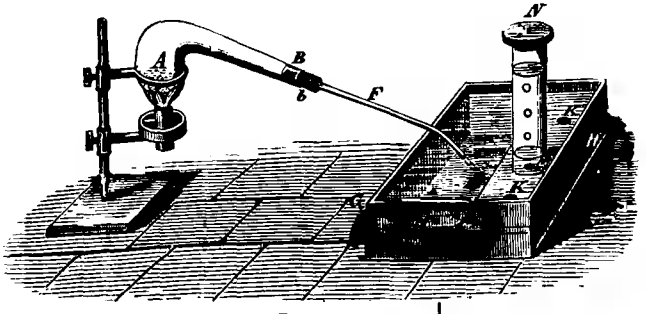
Освобожденіе теплоты при химическихъ соединеніяхъ можно объяснить подобнымъ образомъ. Простыя тѣла, находясь въ свободномъ состояніи, обладаютъ вообще большею живою силою или энергіей, нежели когда они входятъ въ составъ сложныхъ веществъ. Отъ этого, при химическомъ соединеніи часть живой силы частицъ простыхъ тѣлъ уничтожается и превращается въ теплоту. Такъ 8 фунтовъ водорода и одинъ фунтъ кислорода освобождаютъ при образованіи воды 277136 единицъ теплоты и, значитъ, теряютъ часть живой силы, равную $34{,}8 \times 277136$ пудофутовъ. Обратно, чтобы разложить 9 фунтовъ воды, надо совершить работу, равную $34{,}8 \times 277136$ пудофутовъ, или истратить 277136 единицъ теплоты.

Какую скорость тѣло пріобрѣтаетъ, падая въ пустотѣ съ высоты 1000 футовъ, и во сколько времени пробѣжитъ это пространство? — Камень, падая съ вершины колокольни, достигъ земли въ 3 сек.; какъ высока колокольня? — Съ какою скоростью надо бросить тѣло вверхъ, по вертикальному направленію, чтобы оно поднялось на 750 футовъ?— Опредѣлить пространство, пробѣгаемое свободно падающимъ тѣломъ въ 5-ю секунду отъ начала паденія, и вообще въ n-ую секунду?—Опредѣлить, на сколько пространство, пройденное свободно падающимъ тѣломъ въ нѣкоторую единицу времени, болѣе пространства, пройденнаго въ предыдущую единицу времени.—Какой высоты достигнетъ тѣло, брошенное снизу вверхъ со скоростью 120 футовъ? — Какъ сильно натянется нитка, длиною въ 4 фута, которой одинъ конецъ укрѣпленъ неподвижно, а къ другому привязанъ шаръ вѣсомъ въ $3^1/_2$ фунта, вращающійся по окружности, около неподвижной точки, совершая полный оборотъ въ 1 секунду?—Нѣкоторый маятникъ совершаетъ на вершинѣ горы, впродолженіе сутокъ, 98720 колебаній, а у подошвы—98770: какое отношеніе силъ тяжести въ мѣстахъ наблюденій?— Почему опасно спрыгнуть съ большой высоты? — Какая разница произойдетъ въ движеніи стѣнныхъ часовъ, если увеличить вѣсъ гири?—Какое будетъ измѣненіе въ движеніи маятника, если надъ чечевицей прикрѣпить къ стержню еще другую чечевицу?—Одинаковы, или различны времена колебаній двухъ маятниковъ одинаковой формы и различнаго вѣса? — Зачѣмъ тормозятъ колеса при спускѣ съ горы?—Почему бильярдный шаръ, приведенный въ движеніе ударомъ кія ниже центра, откатывается назадъ, послѣ удара о покоющійся шаръ? — Почему куча песку не разсыпается? — Отъ какихъ обстоятельствъ зависитъ время одного качанія на качеляхъ? — Когда сильно ударяютъ по столу, то всѣ вещи, находящіяся на немъ, вздрагиваютъ; отъ чего это?— Почему при стрѣльбѣ изъ пушекъ, и вообще при взрывахъ, лопаются стекла въ рамахъ? —Зачѣмъ во время гололедицы посыпаютъ панели пескомъ? — Какъ велика работа, которую нужно употребить, чтобы вскатить бочку вѣсомъ въ 20 пудъ на наклонную плоскость, которой длина равна 15 футамъ, а наклоненіе къ горизонту 30°?— Въ опытѣ Біо звукъ, прошедшій по веществу трубы, длиною въ 931 метръ, упредилъ звукъ, достигшій наблюдателя чрезъ воздухъ, на $2^1/_2$ сек.; во сколько разъ скорость звука въ чугунѣ болѣе скорости звука въ воздухѣ?—Какъ измѣнилась бы сила тяжести на земной поверхности, если бы земной шаръ, сохраняя то же количество матеріи, уменьшился въ объемѣ въ 27 разъ? — Гирею въ 40 пудъ (баба) вколачиваютъ сваи; опредѣлить давленіе, испытываемое сваей, и количество освобождающейся при этомъ теплоты, если гиря падаетъ съ высоты 20 футовъ, а продолжительность удара равна 0,01 секунды.—Измѣняется ли живая сила отъ удара упругихъ и неупругихъ шаровъ?— Опредѣлить высоту струи (фиг. 644), если гиря Q вѣситъ 200 килограммовъ, а площадь поршня равна 50 квадр. сантиметрамъ.

ПРИБАВЛЕНІЕ I.

Краткій очеркъ важнѣйшихъ химическихъ явленій.

1. Кислородъ. *Простыя тѣла* или *элементы* рѣдко встрѣчаются въ природѣ отдѣльно, но обыкновенно въ соединеніяхъ по 2, по 3 и болѣе. Чтобы получить ихъ въ чистомъ видѣ, пользуются особыми пріемами. Для примѣра разсмотримъ добываніе одного изъ простыхъ тѣлъ, именно *кислорода*. Въ стеклянный приборъ *AB* (фиг. 675), называемый *ретортой*, кладутъ нѣсколько *красной ртутной окиси*; это вещество краснаго цвѣта и обыкновенно имѣетъ видъ порошка. При достаточномъ возвышеніи температуры, окись ртути разлагается на *ртуть* (жидкій металлъ бѣлаго цвѣта) и газообразное тѣло—*кислородъ*. Если опытъ производятъ на воздухѣ, то отдѣляющійся кислородъ будетъ разсѣиваться въ атмосферѣ. Чтобы собрать его отдѣльно, въ горло реторты *B*, чрезъ пробку *b*, плотно вставляютъ колѣнчатую стеклянную трубку *FD*, а свободный конецъ ея подводятъ подъ отверстіе стойки *KK*, укрѣпленной въ жестяномъ или стеклянномъ ящикѣ *GH*; въ послѣдній, называемый *пневматической ванной*, наливаютъ воды на столько, чтобы стойка *KK* была ею покрыта. Затѣмъ, наполняютъ водой стеклянный *газопріемникъ* или цилиндръ *MN* (фиг. 676), закрываютъ отверстіе пластинкой и, опрокинувъ этотъ цилиндръ, погружаютъ (фиг. 675) отверстіемъ въ ванну; потомъ, от-



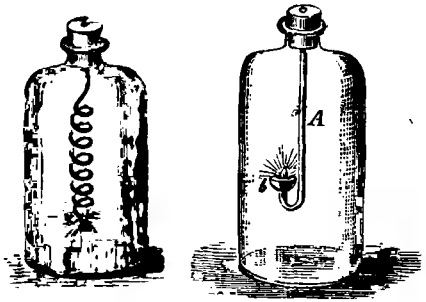
Фиг. 675.

Фиг. 676.

нявъ подъ водой пластинку, газопріемникъ помѣщаютъ на подставкѣ *KK*, противъ одного изъ сдѣланныхъ въ ней отверстій. Вода, поддерживаемая атмосфернымъ давленіемъ, не можетъ вылиться изъ цилиндра. Установивъ такимъ образомъ приборъ, нагрѣваютъ реторту на газовой или спиртовой лампѣ. Вскорѣ замѣтимъ, что чрезъ воду газо-

пріемника начинаютъ подыматься пузырьки, наполненные смѣсью изъ кислорода и воздуха, находившагося прежде въ ретортѣ; между тѣмъ вода упругостью газа вытѣсняется постепенно изъ цилиндра *MN*. Когда вся вода выльется, то газопріемникъ сдвигаютъ съ подставки, закрываютъ подъ водою его отверстіе стеклянной пластинкой и перевертываютъ. Собранный газъ не чистъ, потому что содержитъ много атмосфернаго воздуха; второй газопріемникъ можно наполнить почти чистымъ кислородомъ.

Кислородъ есть газъ безцвѣтный, почему наполненный имъ стеклянный цилиндръ кажется какъ-бы пустымъ; не обладаетъ также ни запахомъ, ни вкусомъ, а изъ другихъ свойствъ замѣчательна его способность поддерживать горѣніе тѣлъ. Если въ газопріемникъ, наполненный кислородомъ, ввести тлѣющую лучинку, то она воспламеняется и горитъ весьма ярко. Стальная пружина, на концѣ которой насаженъ раскаленный уголь, горитъ, разбрасывая во всѣ стороны расплавленные шарики стали (фиг. 677). Къ толстой проволокѣ *A* (фиг. 678) придѣлываютъ чашечку *b*, кладутъ на нее фосфору, зажигаютъ его и потомъ опускаютъ въ склянку, наполненную кислородомъ; фосфоръ воспламеняется и горитъ сильнымъ пламенемъ, нестерпимымъ для глазъ. Во всѣхъ этихъ случаяхъ, горѣніе, спустя нѣсколько времени, начинаетъ ослабѣвать и, наконецъ, совершенно прекращается, а въ склянкѣ кислорода болѣе не оказывается. Отсюда выходитъ, что для горѣнія нуженъ кислородъ, и что при горѣніи количество этого газа постепенно уменьшается.



Фиг. 677. Фиг. 678.

Кислородъ встрѣчается почти во всѣхъ тѣлахъ природы; въ атмосферѣ онъ смѣшанъ съ различными газами, отъ чего въ воздухѣ тѣла горятъ медленно, слабо. Для дыханія также необходимъ кислородъ; впрочемъ, въ атмосферѣ чистаго кислорода животное скоро умираетъ. При горѣніи тѣлъ въ воздухѣ, количество кислорода становится меньше, такъ что, когда это явленіе совершается въ запертомъ со всѣхъ сторонъ пространствѣ, то воздухъ теряетъ, наконецъ, способность поддерживать горѣніе. Отъ дыханія воздухъ также портится; поэтому, животное съ развитыми дыхательными органами не можетъ, безъ опасности для своей жизни, долго оставаться въ запертомъ пространствѣ.

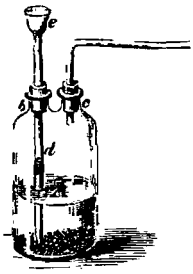
2. Простыя и сложныя тѣла. Окись ртути при нагрѣваніи постепенно убываетъ, а въ газопріемникѣ получается кислородъ. Кромѣ того, на холодныхъ частяхъ реторты появляется налетъ, который есть ни что иное, какъ ртуть. Если опытъ будетъ достаточно продолжителенъ, то въ ретортѣ красной ртутной окиси вовсе не останется. Слѣдовательно, окись ртути состоитъ изъ двухъ тѣлъ: ртути и кислорода. Никакими, въ настоящее время извѣстными, средствами мы не въ состояніи разложить кислородъ, ртуть, также желѣзо, фосфоръ и проч.; такія тѣла въ химіи называются *простыми* или *элементами*, въ отличіе отъ *сложныхъ* или *разлагающихся*, какова напр. окись ртути. Простыхъ тѣлъ открыто до 68. Ихъ обозначаютъ первыми буквами латинскихъ названій; если эти буквы у двухъ различныхъ элементовъ одинаковы, то приписываютъ еще одну букву, взятую изъ названія элемента. Знакъ напримѣръ кислорода *O* (oxigenium), водорода *H* (hidrogenium), ртути *Hg* (hidrargium), фтора *F* (fluor), желѣза *Fe* (ferrum) и проч.

Простыя тѣла раздѣляютъ на *металлоиды* и *металлы*; примѣромъ первыхъ могутъ служить: кислородъ, сѣра, хлоръ и др., примѣромъ вторыхъ—золото, серебро, ртуть и др. Металлы отличаются отъ металлоидовъ особеннымъ блескомъ, большимъ удѣльнымъ вѣсомъ, твердостью и др. физическими признаками, но строгаго различія между металлами и металлоидами не существуетъ.

Въ слѣдующей таблицѣ помѣщены знаки главнѣйшихъ элементовъ.

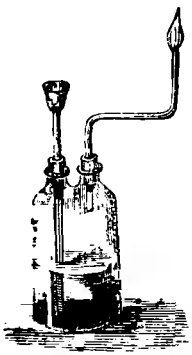
Кислородъ *O*.	Калій *K*.	Хромъ *Cr*.
Водородъ *H*.	Натрій *Na*.	Олово *Sn*.
Хлоръ *Cl*.	Барій *Ba*.	Свинецъ *Pb*.
Іодъ *I*.	Кальцій *Ca*.	Висмутъ *Bi*.
Фторъ *F*.	Магній *Mg*.	Сурьма *Sb*.
Бромъ *Br*.	Стронцій *Sr*.	Мѣдь *Cu*.
Сѣра *S*.	Марганецъ *Mn*.	Ртуть *Hg*.
Азотъ *N*.	Желѣзо *Fe*.	Серебро *Ag*.
Углеродъ *C*.	Кобальтъ *Co*.	Платина *Pt*.
Фосфоръ *P*.	Никкель *Ni*.	Золото *Au*.
Мышьякъ *As*.	Цинкъ *Zn*.	
Кремній *Si*.	Кадмій *Cd*.	

3. Водородъ. Для добыванія водорода употребляютъ двугорлую склянку *A* (фиг. 679); изъ одного горла *c* выходитъ газоотводная трубка, оканчивающаяся подъ газопріемникомъ пневматической ванны, а въ другое горло *b* вставляютъ воронку *e* съ длинной трубкой *ed*, доходящей до дна склянки. Въ сосудъ *A* кладутъ цинковыхъ стружекъ.



Фиг. 679.

или зеренъ и наливаютъ чрезъ воронку *e* воды и сѣрной кислоты. Какъ только цинкъ придетъ въ соприкосновеніе съ кислотой, тотчасъ изъ жидкости начинаютъ отдѣляться пузырьки газа, который чрезъ газопроводную трубку входитъ въ газопріемникъ. Этотъ газъ и есть водородъ. Водородъ — газъ безцвѣтный, безъ запаха и вкуса, легче всѣхъ другихъ газообразныхъ тѣлъ. Вслѣдствіе своей легкости, онъ можетъ быть употребляемъ для наполненія аэростатовъ. Если водородъ выпускать изъ газопроводной трубки прямо на воздухъ (фиг. 680) и направить на зажженную лучину, то онъ воспламеняется и горитъ слабымъ синимъ пламенемъ. При этомъ водородъ соединяется съ кислородомъ воздуха и даетъ воду въ видѣ пара. Водородъ горѣнія не поддерживаетъ; чтобы убѣдиться въ этомъ, вносятъ зажженную свѣчку въ опрокинутый сосудъ съ водородомъ; свѣча тотчасъ потухаетъ. Водородъ дыханія не поддерживаетъ; животныя быстро задыхаются въ этомъ газѣ. Смѣсь, состоящая изъ двухъ объемовъ водорода и одного объема кислорода, даетъ такъ называемый *гремучій* газъ; если заключить его въ склянку и зажечь, то водородъ и кислородъ соединяются безъ остатка, образуя водяные пары; при этомъ происходитъ сильный взрывъ, отъ котораго сосудъ разбивается въ дребезги. По этой причинѣ, когда хотимъ зажечь освобождающійся изъ склянки водородъ (фиг. 680), то должно подождать, пока этотъ газъ не вытѣснитъ изъ сосуда всего воздуха; въ противномъ случаѣ, кислородъ воздуха составитъ съ водородомъ гремучую смѣсь, которая можетъ загорѣться, какъ скоро приблизимъ пламя къ выходящей струѣ газа. Если на струю водорода направить струю кислорода и смѣсь зажечь, то горѣніе происходитъ безъ взрыва. Пламя гремучаго газа обладаетъ такой высокой температурой, что въ немъ плавятся всѣ металлы, а мѣлъ и известь до того сильно накаливаются, что издаютъ свѣтъ равносильный 1600 свѣчамъ; этотъ свѣтъ называется *друммондовымъ*.


Фиг. 680.

4. Вода. Вода, встрѣчаемая въ природѣ, никогда не бываетъ чиста; невская напримѣръ содержитъ въ растворѣ $\frac{1}{20000}$ по вѣсу различныхъ примѣсей, въ числѣ которыхъ находится мѣлъ, англійская соль и глауберова соль (отъ послѣднихъ двухъ, вѣроятно, зависитъ легкое слабительное дѣйствіе невской воды) *).

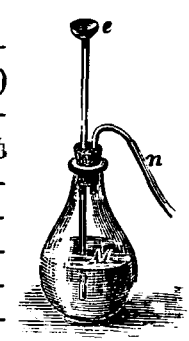
*) Точнѣе: 0,000015 мѣлу (углеизвестковой соли), 0,000007 англійской соли сѣрномагніевой) и 0,000002 глауберовой (сѣрнонатріевой).

Воды другихъ рѣкъ—также озеръ, ключей—имѣютъ другія примѣси, что зависитъ отъ состава грунта, омываемаго водой. Въ общежитіи различаютъ мягкую (прѣсную) воду отъ жесткой; послѣдняя содержитъ болѣе примѣсей, особенно известковыхъ солей; въ ней не растворяется мыло, не развариваются овощи, при кипяченіи она даетъ много осадка и негодна для питья. Морская вода имѣетъ болѣе или менѣе однообразный составъ; въ ней находится между прочимъ около $2^1/_2$ % поваренной соли и $^1/_2$ % магніевыхъ солей, которыя придаютъ морской водѣ горькосоленый вкусъ. Минеральныя воды отличаются большимъ количествомъ примѣсей, а нѣкоторыя обладаютъ цѣлебными свойствами. Къ такимъ водамъ принадлежатъ: сѣрныя (сѣрнистый водородъ), желѣзныя (углежелѣзная соль), соляныя (поваренная соль) и др. Теплыми водами называютъ тѣ, которыхъ температура значительно превышаетъ температуру окружающаго воздуха.

Химически чистая вода, то есть освобожденная отъ постороннихъ примѣсей, прозрачна, безъ вкуса и запаха, въ небольшомъ количествѣ безцвѣтна, а въ большой массѣ имѣетъ свѣтлозеленый цвѣтъ. Вода способна *растворять* въ себѣ всѣ газы, многія жидкія и твердыя тѣла. Почти для каждаго вещества существуетъ предѣлъ, за которымъ дальнѣйшее раствореніе дѣлается невозможнымъ; такой растворъ называется *насыщеннымъ*. Съ увеличиваніемъ температуры, растворимость большей части твердыхъ тѣлъ увеличивается, а газовъ—уменьшается. Для удаленія изъ раствора газовъ, растворъ кипятятъ, или ставятъ подъ колоколъ воздушнаго насоса и уменьшаютъ давленіе. Впрочемъ для полнаго удаленія легко растворяющагося газа эти способы оказываются недостаточными.

Кислородъ съ водородомъ образуютъ, кромѣ воды, еще одно соединеніе—*перекись водорода*. Это тѣло на одно и то же количество водорода содержитъ вдвое болѣе кислорода, чѣмъ вода; оно не постоянно, то есть легко разлагается, освобождая часть своего кислорода, и превращается въ воду. Перекись водорода представляетъ при обыкновенной температурѣ безцвѣтную жидкость.

5. Хлоръ. Положимъ *въ колбу* (сосудъ изъ тонкаго стекла, имѣющій видъ бутылки *M*) (фиг. 681) нѣсколько перекиси марганца, а чрезъ воронку *e* прильемъ немного соляной кислоты. Весьма скоро послѣ того, особенно если еще колбу слегка подогрѣть, начнетъ отдѣляться чрезъ трубку *n* въ большомъ количествѣ желтовато-зеленаго цвѣта газъ — *хлоръ*. Собрать его можно въ пневматической ваннѣ, надъ насыщеннымъ растворомъ поваренной соли, который мало растворяетъ хлоръ.



Фиг. 681.

Хлоръ отличается удушливымъ запахомъ. Плотность его относи-

тельно воздуха 2, 4. Хлоръ растворяется въ водѣ; такой растворъ называется *хлорной водой*. Если составить смѣсь изъ равныхъ объемовъ хлора и водорода и подвергнуть эту смѣсь дѣйствію солнечныхъ лучей, то газы мгновенно соединяются съ весьма сильнымъ и опаснымъ взрывомъ; при разсѣянномъ же свѣтѣ—соединеніе газовъ идетъ медленно. Продуктъ соединенія есть газъ, называемый *хлористымъ водородомъ*, — газъ безцвѣтный, имѣетъ острый запахъ, легко растворяется въ водѣ. Вода, насыщенная этимъ газомъ, извѣстна подъ именемъ *соляной* или *хлористоводородной кислоты*. Соляная кислота безцвѣтна, имѣетъ острый запахъ, очень кисла на вкусъ и можетъ растворять многіе металлы.—Хлоръ имѣетъ сильное стремленіе къ соединенію съ водородомъ; этимъ объясняется дѣйствіе хлора на органическія вещества, которыя содержатъ въ своемъ составѣ водородъ; въ соприкосновеніи съ хлоромъ они уступаютъ ему свой водородъ и разрушаются. Отъ этого, хлоръ, когда его вдыхаютъ, производитъ удушье и кровохарканіе; обезцвѣчиваетъ органическія краски и на этомъ основаніи употребляется для бѣленія писчей бумаги, льняныхъ, хлопчатобумажныхъ и пеньковыхъ тканей; разрушаетъ *міазмы* или газообразныя вещества, носящіяся въ воздухѣ и вредныя для здоровья, и потому употребляется при заразительныхъ болѣзняхъ для очищенія воздуха. Хлоръ также легко соединяется почти со всѣми металлами.

6. По способу дѣйствія на другія тѣла, къ хлору весьма близки *фторъ*, *бромъ* и *іодъ*, хотя по наружному виду весьма различны: фторъ есть безцвѣтный газъ, бромъ—красно-бурая, сильно пахучая и весьма ядовитая жидкость, а іодъ—твердое тѣло стального цвѣта, легко испаряющееся; пары его имѣютъ фіолетовый цвѣтъ.

7. Сѣра. *Сѣра*, всѣмъ извѣстное твердое тѣло желтаго цвѣта, не имѣетъ ни вкуса, ни запаха.

Самородная сѣра встрѣчается преимущественно около вулкановъ, въ смѣшеніи съ различными землистыми веществами. Очищаютъ ее посредствомъ *сухой перегонки*, которая состоитъ въ слѣдующемъ. Нечистую сѣру нагрѣваютъ въ печи въ глиняномъ кувшинѣ; пары сѣры изъ этого кувшина проводятъ въ другой, помѣщенный внѣ печи; здѣсь пары охлаждаются, получается жидкая сѣра, которая и разливается потомъ въ формы. Сопровождающія сѣру различныя примѣси, не переходящія по большей части въ пары, остаются въ первомъ кувшинѣ. Для полученія совершенно чистой сѣры перегонку повторяютъ нѣсколько разъ.

Будучи нагрѣта нѣсколько выше 100°, сѣра плавится и обращается въ блѣдножелтую и подвижную жидкость; при дальнѣйшемъ нагрѣваніи становится бурой и густѣетъ такъ, что съ трудомъ выливается изъ опрокинутаго сосуда; если еще повысить температуру, то

сѣра опять дѣлается жидкою. Густая сѣра, будучи вылита въ воду, превращается въ тѣло очень упругое и не скоро твердѣетъ; впрочемъ, по прошествіи нѣкотораго времени, она снова принимаетъ всѣ свойства обыкновенной сѣры.

Сѣра имѣетъ обширныя приложенія; упомянемъ, между прочимъ, фабрикацію сѣрныхъ спичекъ и пороха.

Сѣра, подобно хлору и кислороду, дѣйствуетъ на многія тѣла; смѣшавъ ее, напримѣръ, съ опилками желѣза, мѣди и др. и нагрѣвая смѣсь, получимъ ея соединенія съ металлами. Сѣрнистыя соединенія металловъ встрѣчаются также въ природѣ.

Горящая на воздухѣ сѣра непосредственно соединяется съ кислородомъ и образуетъ безцвѣтный газъ съ сильнымъ нестерпимымъ запахомъ, который извѣстенъ всякому, кому случалось зажигать сѣрную спичку. Этотъ газъ называется *сѣрнистымъ ангидридомъ*, а водный его растворъ—*сѣрнистой кислотой*. Сѣрнистая кислота имѣетъ свойство обезцвѣчивать многія органическія вещества, и потому употребляется для бѣленія соломы, шерсти, шелка и др.

Сѣрнистая кислота способна поглощать кислородъ воздуха и переходитъ при этомъ въ *сѣрную кислоту*, извѣстную въ торговлѣ подъ именемъ *купороснаго масла*. Крѣпкая сѣрная кислота имѣетъ видъ масла; она безцвѣтна, безъ запаха, съ весьма кислымъ вкусомъ; при смѣшиваніи съ водою смѣсь сильно нагрѣвается.

Если отдѣлить отъ сѣрной кислоты всю воду, то получается твердое тѣло бѣлаго цвѣта, называемое *сѣрнымъ ангидридомъ*.

Если въ двугорлую банку (фиг. 680) положить сѣрнистаго желѣза, состоящаго изъ сѣры и желѣза, а чрезъ воронку прилить немного слабой (разведенной водой) сѣрной кислоты, то изъ жидкости выдѣляется газообразное соединеніе сѣры съ водородомъ, называемое *сѣрнистымъ водородомъ*; водный растворъ этого газа называется *сѣрнистоводородной кислотой*. Сѣрнистый водородъ отличается весьма непріятнымъ запахомъ (тухлыхъ яицъ), вредно дѣйствуетъ на органы дыханія; даже небольшое его количество производитъ тошноту и головокруженіе. Этотъ же газъ образуется при гніеніи различныхъ животныхъ веществъ: яицъ, мяса, крови и т. п.; встрѣчается въ водѣ многихъ ключей, извѣстныхъ подъ именемъ сѣрныхъ водъ.

8. Главнѣйшіе законы химическихъ явленій. Химическимъ явленіемъ или *реакціей* называется всякое измѣненіе состава тѣла, происходящее при дѣйствіи разнородныхъ веществъ другъ на друга, а также при дѣйствіи свѣта, теплоты и другихъ физическихъ дѣятелей. Большее или меньшее стремленіе тѣлъ ко взаимному соединенію

для образованія новыхъ тѣлъ называется *химическимъ сродствомъ*. Химическимъ сродствомъ называютъ также первоначальную причину химическихъ явленій. Химическія явленія подчинены, какъ показали опыты, слѣдующимъ законамъ.

1) *Вѣсъ тѣлъ дѣйствующихъ всегда равенъ вѣсу тѣлъ происходящихъ*, то есть, при всѣхъ явленіяхъ какъ химическихъ, такъ и физическихъ, матерія не теряется и не творится вновь. При нагрѣваніи ледъ таетъ; легко убѣдиться, что фунтъ льду можетъ дать ни болѣе, ни менѣе одного фунта воды. Если взвѣсимъ нѣкоторое количество окиси ртути и потомъ полученные изъ нея ртуть и кислородъ, то найдемъ, что тотъ и другой вѣсъ между собою равны. Разлагая 100 ч. по вѣсу воды, всегда получимъ 89 ч. кислорода и 11 ч. водорода; соединяя 1 ч. водорода съ 35,5 хлора, всегда получимъ 36,5 хлористаго водорода; и т. д. Когда тѣло горитъ, то вещество, повидимому, уничтожается, но не трудно показать, что и здѣсь имѣетъ мѣсто тотъ же общій законъ. При горѣніи тѣло соединяется съ кислородомъ воздуха, отъ чего образуются газы, которые распространяются потомъ въ атмосферѣ. Если производить опытъ въ запертомъ со всѣхъ сторонъ пространствѣ, то окажется, что вѣсъ тѣла и воздуха до горѣнія равенъ вѣсу образовавшихся газовъ. Такимъ образомъ, здѣсь матерія не потерялась, а только измѣнила свой видъ. Возьмемъ еще примѣръ. Изъ зерна происходитъ цѣлое растеніе. Казалось бы, что въ этомъ случаѣ матерія создается; но точныя изслѣдованія показали, что растеніе увеличивается въ объемѣ и вѣсѣ на счетъ веществъ, которыя втягиваются листьями изъ воздуха и всасываются корнями изъ почвы. Справедливость этого объясненія подтверждается, между прочимъ, тѣмъ, что каждое растеніе можетъ произрастать только на такой почвѣ, которая содержитъ вещества необходимыя для питанія растенія.—Увеличиваніе объема и вѣса животныхъ очевидно происходитъ отъ принимаемой ими пищи.

2) Чрезъ сочетаніе простыхъ тѣлъ получаются либо *химическія соединенія*, либо *смѣси*. Главное отличіе химическаго соединенія отъ смѣси заключается въ томъ, что первое однородно по всей своей массѣ: въ немъ нельзя видѣть составныя части, даже при помощи сильно увеличивающаго микроскопа. Второе отличіе состоитъ въ томъ, что сложное тѣло, полученное химическимъ процессомъ, не похоже по своимъ свойствамъ на составляющія его части. Наконецъ, химическія соединенія бываютъ только въ опредѣленныхъ пропорціяхъ, и два простыя тѣла не даютъ безчисленнаго множества сложныхъ тѣлъ, а весьма немногія. Простыя смѣси не имѣютъ этихъ свойствъ; въ нихъ почти всегда

легко замѣтить неоднородность частей; онѣ не имѣютъ опредѣленныхъ составовъ и разнообразны до безконечности.

3) *Если какое либо тѣло A соединяется съ другимъ B въ нѣсколькихъ пропорціяхъ, то на одно и то же количество тѣла A, вступающаго въ эти соединенія, количества тѣла B находятся между собою въ весьма простыхъ отношеніяхъ.* Такъ, водородъ съ кислородомъ даетъ два соединенія—воду и перекись водорода, въ которыхъ, при одномъ и томъ же количествѣ водорода, требуется для составленія перекиси вдвое болѣе кислорода, нежели для образованія воды. Ангидриды, сѣрный и сѣрнистый, содержатъ, при одномъ и томъ же количествѣ сѣры, первый въ $1^1/_2$ раза болѣе кислорода, нежели второй.

4) *Станемъ соединять между собою простыя тѣла A, B, C, D,.... и назовемъ чрезъ b, c, d,.... наименьшія количества тѣлъ B, C, D...., необходимыя для образованія химическихъ соединеній съ однимъ и тѣмъ же количествомъ тѣла A, то тѣла B, C, D...., вступаютъ во взаимныя соединенія въ количествахъ b, c, d...., или кратныхъ этимъ величинамъ.* Возьмемъ напримѣръ для сравненія 1 граммъ водорода. Наименьшее количество кислорода, вступающее въ реакцію съ водородомъ (для образованія воды), равно 8 граммамъ; наименьшее количество хлора — 35,5 (хлористый водородъ); сѣры—16 (сѣрнистый водородъ. Когда кислородъ, хлоръ, сѣра соединяются между собою, то не иначе, какъ этими количествами, или кратными ихъ; такъ, для соединенія сѣры съ кислородомъ можно взять 16 сѣры и 8 кислорода (сѣрноватистый ангидридъ), или то же количество сѣры и 16 кислорода (сѣрнистый ангидридъ), или 24 кислорода (сѣрный ангидридъ) и проч. — Количества, которыми простыя тѣла другъ на друга реагируютъ, называются *паями*.

Послѣдніе три закона могутъ быть объяснены на основаніи атомистической гипотезы. Каждое тѣло состоитъ изъ атомовъ, обнаруживающихъ взаимное притяженіе, но не касающихся другъ друга, вслѣдствіе отталкивательной силы или теплорода. Атомы группируются въ частицы по два, по три и болѣе. Когда два простыя тѣла, способныя дѣйствовать другъ на друга химически, приходятъ въ соприкосновеніе, то частицы простыхъ тѣлъ разрушаются, образуя новыя частицы. При этомъ частицы сложнаго тѣла составляются различнымъ образомъ: одинъ атомъ какого либо простаго тѣла можетъ соединиться съ 1, 2, 3, 4, 5.... атомами другого тѣла, или 2 атома перваго съ 1, 2, 3, 4, 5.... атомами второго, или 3 атома перваго съ

1, 2, 3, 4, 5.... атомами второго, и т. д.—Атомы разныхъ элементовъ имѣютъ разный вѣсъ; напримѣръ, вѣсъ атома хлора въ 35,5 разъ болѣе вѣса атома водорода.

Отсюда выходитъ, что химическія соединенія должны имѣть опредѣленный (постоянный) составъ и два простыя тѣла не могутъ образовать безконечное множество соединеній (2-й законъ).—Количества простыхъ тѣлъ, образующихъ нѣсколько химическихъ соединеній, пропорціональны числу атомовъ, входящихъ въ составъ частицъ, и, слѣдовательно, должны выражаться весьма простыми числами (3-й законъ).—Чтобы объяснить 4-й законъ, надо допустить, что паи пропорціональны вѣсу атомовъ, а такъ какъ атомы недѣлимы, то простыя тѣла могутъ соединяться между собою только въ количествахъ, пропорціональныхъ вѣсамъ своихъ атомовъ. Паи обозначаются знаками элементовъ [2]; такъ, пай водорода обозначаютъ чрезъ H, кислорода — O, хлора—Cl и проч. При этомъ пай водорода принимаютъ за единицу мѣры, то есть полагаютъ, что $H=1$.

Чрезъ изученіе реакцій простыхъ и сложныхъ тѣлъ, нашли, что паи элементовъ, отнесенные къ водороду, выражаются слѣдующими числами:

$H=1$	$Na=23$	$Bi=210$
$O=16$	$Ba=137$	$Sb=122$
$Cl=35,5$	$Ca=40$	$Cu=63,4$
$S=32$	$Al=27,5$	$Pb=207$
$N=14$	$Mg=24$	$Hg=200$
$C=12$	$Mn=55$	$Ag=108$
$P=31$	$Fe=56$	$Au=196,5$
$As=75$	$Zn=65$	$Pt=197$
$Si=28$	$Cr=52,2$	
$K=39$	$Sn=118$	

Частицы простыхъ и сложныхъ тѣлъ составлены изъ различнаго числа атомовъ. Частица ртути, наприм., состоитъ только изъ одного атома, частица кислорода, водорода, хлора — изъ двухъ атомовъ, мышьяка—изъ четырехъ.

Частица воды состоитъ изъ двухъ атомовъ водорода и одного атома кислорода. Ее можно изобразить чрезъ $2H+O$, или короче H_2O; здѣсь подъ H разумѣютъ одну вѣсовую единицу (напр. граммъ) водорода, а подъ O—16 такихъ же единицъ (16 граммовъ) кислорода. Частица хлористаго водорода состоитъ изъ одного атома водорода и одного атома хлора и можетъ быть обозначена чрезъ HCl, гдѣ H означаетъ вѣсовую единицу водорода, а Cl—35.5 тѣхъ же

единицъ хлора. Подобнымъ образомъ сѣрнистый ангидридъ изображается формулой . . . . . SO_2
Сѣрнистая кислота. . . . . SO_2+H_2O или H_2SO_3
Сѣрный ангидридъ. . . . . SO_3
Сѣрная кислота . . . . . SO_3+H_2O или H_2SO_4
Сѣрнистый водородъ . . . . . H_2S
Перекись водорода. . . . . H_2O_2

Зная составъ частицы сложнаго тѣла, не трудно вычислить вѣсовыя количества простыхъ тѣлъ, въ него входящихъ. Для примѣра вычислимъ количества водорода, сѣры и кислорода въ 50 граммахъ сѣрной кислоты. Такъ какъ

$$H_2SO_4=2.H+S+4.O=98,$$

то водорода въ сѣрной кислотѣ $50.\frac{2}{98}=1,02$ гр., сѣры $50.\frac{32}{98}=16,33$ гр. и кислорода $50.\frac{64}{98}=32,65$ гр.

Упругость газа объясняется, какъ извѣстно, взаимнымъ отталкиваніемъ его частицъ. Отталкиваніе зависитъ отъ температуры и разстоянія между частицами. Съ пониженіемъ температуры и увеличеніемъ разстоянія, отталкиваніе уменьшается, а вмѣстѣ съ тѣмъ ослабѣваетъ упругость газа; напротивъ, при возвышеніи температуры и при сближеніи частицъ, отталкиваніе увеличивается, и упругость возрастаетъ. Такъ какъ частицы весьма малы въ сравненіи съ разстояніями между ними, то надо допустить, что взаимное ихъ отталкиваніе не зависитъ отъ состава частицы и количества содержащагося въ нихъ вещества. Слѣдовательно, всякіе газы и пары, при одной и той же температурѣ, должны обладать равными упругостями, если разстоянія между частицами ихъ одинаковы. Отсюда выходитъ:

Равные объемы всѣхъ газовъ и паровъ, при одинаковыхъ упругости и температурѣ, должны содержать одно и то же число частицъ. Химическія формулы сложныхъ тѣлъ изображаютъ величины, пропорціональныя вѣсу частицъ. Поэтому, предыдущій законъ можно выразить такъ: *вѣсовыя количества веществъ, изображаемыя химическими формулами, занимаютъ въ состояніи пара или газа, при одинаковыхъ упругости и температурѣ, равные объемы.* Наприм., 18 грам. воды, 36,5 гр. хлористаго водорода, 98 гр. сѣрной кислоты и проч. занимаютъ въ состояніи пара или газа, при одинаковыхъ упругости и температурѣ, равные объемы, и именно такіе же какъ 2 гр. водорода, 32 кислорода и проч.

По этому закону, объемъ сложнаго тѣла можетъ быть менѣе суммы

объемовъ простыхъ тѣлъ, входящихъ въ его составъ. При образованіи хлористаго водорода, одна частица хлора и частица водорода даютъ двѣ частицы хлористаго водорода, такъ что одинъ объемъ хлора и такой же объемъ водорода даютъ 2 объема хлористаго водорода; значитъ, здѣсь не происходитъ сокращенія въ объемѣ. Напротивъ, при образованіи воды, двѣ частицы водорода и одна частица кислорода даютъ двѣ частицы водяного пара, такъ что 2 объема водорода и 1 объемъ кислорода сокращаются въ два объема водяного пара.

5) При соприкосновеніи сложнаго тѣла съ другимъ сложнымъ или простымъ, могутъ образоваться новыя сложныя тѣла. Такъ, при соприкосновеніи соляной кислоты съ цинкомъ, хлоръ соединяется съ цинкомъ, а водородъ освобождается; реакція выражается слѣдующимъ равенствомъ:

$$2HCl+Zn=ZnCl_2+H_2.$$

Вещество $ZnCl_2$ называется хлористымъ цинкомъ. Водородъ также отдѣляется при соприкосновеніи цинка съ сѣрной кислотой [3]:

$$H_2SO_4+Zn=ZnSO_4+H_2.$$

Вещество $ZnSO_4$ называется сѣрноцинковою солью или цинковымъ купоросомъ. Желѣзо производитъ подобное же явленіе:

$$H_2SO_4+Fe=FeSO_4+H_2.$$

Тѣло $FeSO_4$ называется желѣзнымъ купоросомъ.

Если металлы калій и натрій будутъ брошены въ воду, то одинъ пай водорода замѣщается паемъ металла, а водородъ отдѣляется:

$$H_2O+K=HKO+H,$$
$$H_2O+Na=HNaO+H.$$

Тѣла HKO и $HNaO$—твердыя, бѣлаго цвѣта и называются: ѣдкое кали и ѣдкій натръ.

Если на раскаленный уголь, или желѣзо направить струю водяного пара, то кислородъ соединяется съ этими тѣлами, а водородъ освобождается:

$$3Fe+4H_2O=Fe_3O_4+8H,$$
$$C+H_2O=CO+H_2.$$

Fe_3O_4 называется окисью желѣза, CO—окисью углерода.

При обливаніи сѣрнистаго желѣза FeS сѣрною кислотою, освобождается сѣрнистый водородъ и образуется желѣзный купоросъ [7]:

$$FeS+H_2SO_4=FeSO_4+H_2S.$$

6) *При всякомъ химическомъ явленіи* обыкновенно *освобождается теплота*. Такъ, при добываніи водорода, посредствомъ цинка и сѣрной кислоты [3], склянка сильно нагрѣвается. Если смѣшивать сѣрную кислоту съ водою, то происходитъ не менѣе сильное возвы-

шеніе температуры. Подобное смѣшиваніе въ стеклянномъ сосудѣ съ толстыми стѣнками производить не должно, потому что сосудъ легко можетъ лопнуть. Обыкновенный способъ возбужденія теплоты въ общежитіи есть сожиганіе дерева, угля и проч.; освобожденіе теплоты происходитъ здѣсь вслѣдствіе химическаго соединенія горящаго тѣла съ кислородомъ воздуха.

9. Азотъ. Атмосферный воздухъ состоитъ изъ многихъ газовъ: изъ нихъ кислорода содержится 21% по объему и азота 78%; на прочіе газы, изъ которыхъ болѣе всѣхъ паровъ воды и угольнаго ангидрида, приходится менѣе 1%. Для полученія азота, въ фарфоровую чашечку, вдѣланную въ пробку, плавающую на водѣ, кладутъ нѣсколько кусочковъ фосфора, который потомъ зажигаютъ; чашечку покрываютъ стеклянным колпакомъ, такъ чтобы края его нѣсколько погрузились въ воду. Горѣніе фосфора будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока подъ колпакомъ есть кислородъ; послѣ того, все пространство въ колпакѣ, надъ водою будетъ наполнено почти чистымъ азотомъ.

Азотъ — газъ безцвѣтный, безъ запаха и вкуса, не горитъ и не поддерживаетъ ни горѣнія, ни дыханія. Изъ соединеній его замѣчательны: *амміакъ, закись азота, окись азота, азотистый ангидридъ, азотноватая окись, азотный ангидридъ.*

Амміакъ есть газъ безцвѣтный, съ сильнымъ проницательнымъ запахомъ; при вдыханіи производитъ воспаленіе оболочекъ дыхательныхъ органовъ; въ амміачной атмосферѣ животныя быстро умираютъ. Химическая формула этого газа NH_3. Амміакъ въ большомъ количествѣ растворяется въ водѣ; напитанная этимъ газомъ вода извѣстна въ общежитіи подъ именемъ *нашатырнаго спирта.* Амміакъ можно добыть, нагрѣвая смѣсь изъ извести и нашатыря.

Азотный ангидридъ есть тѣло твердое при обыкновенной температурѣ; соединяется химически съ водою и даетъ *азотную кислоту*, которой формула HNO_3.

Азотная кислота есть безцвѣтная жидкость съ острымъ запахомъ: легко уступаетъ прикасающимся съ нею тѣламъ кислородъ; поэтому, органическія вещества разрушаются этою жидкостью; на кожѣ остается волдырь, какъ отъ обжога. Растворяетъ многіе металлы, кромѣ золота и платины, которыя растворяются только въ *царской водкѣ*, состоящей изъ смѣси азотной и соляной кислотъ. Азотную кислоту можно добыть изъ селитры (KNO_3), дѣйствуя на послѣднюю сѣрной кислотой: при этомъ калій (K) селитры и водородъ сѣрной кислоты обмѣниваются мѣстами:

$$2(KNO_3)+H_2SO_4=2(HNO_3)+K_2SO_4:$$

получаются азотная кислота и сѣрнокаліева соль (K_2SO_4). Прочія упомянутыя соединенія азота всѣ при обыкновенной температурѣ газообразны. Изъ нихъ азотноватая окись буроораньжеваго цвѣта, имѣетъ удушливый запахъ и весьма вредна при вдыханіи.

10. Фосфоръ. Фосфоръ встрѣчается въ природѣ только въ соединеніи съ другими тѣлами; его находятъ въ сѣменахъ растеній, въ крови и особенно въ нервахъ и костяхъ животныхъ. Въ чистомъ видѣ фосфоръ безцвѣтенъ и прозраченъ, но отъ дѣйствія свѣта становится непрозрачнымъ и получаетъ свѣтлооранжевый цвѣтъ; нерастворимъ въ водѣ, почему въ ней обыкновенно и сохраняется. Фосфоръ имѣетъ сильное сродство съ кислородомъ и соединяется съ нимъ даже при обыкновенной температурѣ на воздухѣ, образуя *фосфористую* кислоту, отъ чего въ темнотѣ свѣтится. Когда онъ горитъ, то является густой бѣлый дымъ, который потомъ осѣдаетъ въ видѣ хлопьевъ, похожихъ на снѣгъ; это — фосфорный ангидридъ; послѣдній при смѣшеніи съ водою даетъ *фосфорную* кислоту H_3PO_4. Фосфоръ загорается даже отъ тренія; на этомъ основано его употребленіе въ фосфорныхъ спичкахъ. Фосфоръ чрезвычайно ядовитъ; обжоги, производимые горящимъ фосфоромъ, весьма опасны.

11. Углеродъ. Алмазъ, графитъ, каменный и древесный уголь представляютъ различныя видоизмѣненія углерода. Каждое изъ нихъ имѣетъ свои отличительные физическіе признаки; алмазъ, напримѣръ, встрѣчается въ видѣ болѣе или менѣе правильныхъ кристалловъ и ошлифованный (бриллiантъ и роза) обладаетъ сильной игрой. Древесный и костяной уголь получается при обжиганіи дерева и костей. Изъ соединеній углерода съ кислородомъ замѣтимъ угольный ангидридъ или углекислый газъ CO_2 и окись углерода CO. Угольный ангидридъ представляетъ безцвѣтный и очень тяжелый газъ, не поддерживающій ни горѣнія, ни дыханія; въ водѣ растворяется въ небольшомъ количествѣ; съ увеличеніемъ давленія, увеличивается и количество растворяющагося газа. Шипучесть винъ и напитковъ происходитъ отъ отдѣляющагося углекислаго газа. Этотъ газъ встрѣчается въ воздухѣ, образуется при горѣніи, гніеніи, дыханіи и другихъ процессахъ.

Кромѣ углекислаго газа, уголь при горѣніи образуетъ съ кислородомъ *окись углерода*—газъ, весьма вредно дѣйствующій при вдыханіи. Этотъ газъ извѣстенъ въ общежитіи подъ именемъ *угара* и получается каждый разъ, когда къ горящему углю притекаетъ недостаточное количество воздуха; такъ напримѣръ, бываетъ въ печахъ, при преждевременномъ закрытіи трубъ. Окись углерода горитъ на воздухѣ синимъ пламенемъ и при этомъ обращается въ угольный ангидридъ.

12. Соединенія углерода многочисленны и разнообразны; описаніе этихъ соединеній составляетъ предметъ особеннаго отдѣла химіи —*органической химіи*. Они весьма непостоянны: достаточно невысокой температуры, или вліянія влажнаго воздуха для измѣненія ихъ состава. Они встрѣчаются уже готовыми въ растеніяхъ и животныхъ; впрочемъ, въ настоящее время нашли возможность многія изъ нихъ приготовлять искусственно, напримѣръ муравьиную кислоту, уксусную кислоту и др. Разсмотримъ нѣкоторыя изъ этихъ органическихъ соединеній.

Бѣлковина и сахаристыя вещества. *Бѣлковина* находится въ яичномъ бѣлкѣ птицъ, также въ крови и сокахъ многихъ животныхъ и растеній. Яичный бѣлокъ состоитъ изъ небольшихъ клѣточекъ, содержащихъ водный растворъ бѣлковины и нѣкоторыхъ солей: поваренной, фосфорной и др. Отдѣленная отъ постороннихъ примѣсей, чистая бѣлковина полупрозрачна, некристаллична, растворима въ водѣ; при нагрѣваніи (до 70°), или при дѣйствіи крѣпкихъ кислотъ, свертывается и становится нерастворимою.

Казеинъ или *творожина* отличается отъ бѣлковины тѣмъ, что не свертывается при кипяченіи съ водою. Казеинъ находится въ молокѣ, горохѣ, бобахъ и др. Молоко состоитъ изъ смѣси воды, бѣлковины, казеина, молочнаго сахара, шариковъ жира и др. Капельки жира образуютъ на поверхности отстоявшагося молока сливки, а при сбиваніи—масло. Казеинъ молока при дѣйствіи воздуха, сычуга, кислотъ свертывается, увлекая съ собою жирные шарики; такой свертокъ называется творогомъ.

Изъ другихъ бѣлковинныхъ веществъ упомянемъ о *фибринѣ* и *клейковинѣ*.

Тростниковый сахаръ $C_{12}\ H_{22}\ O_{11}$ содержится въ сокѣ многихъ растеній, напримѣръ сахарнаго тростника, моркови, свекловицы и др. Для извлеченія сока изъ тростника, послѣдній прессуютъ между чугунными цилиндрами; выжатый сокъ очищаютъ, сгущаютъ и выпариваютъ. Послѣ выпариванія, получается нечистый сахаръ, называемый *сырцомъ* или *сахарнымъ пескомъ*; сгущенный растворъ сырца *раффинируютъ*, то есть обезцвѣчиваютъ костянымъ углемъ и выпариваютъ; послѣ того, получается чистый сахаръ. Одна часть холодной воды растворяетъ 3 части по вѣсу сахару, а кипящая—во всякой пропорціи. Въ совершенно чистомъ алкоголѣ сахаръ нерастворимъ. При высокой температурѣ сахаръ чернѣетъ, отдѣляетъ воду и переходитъ въ *карамель*. Прозрачный некристаллическій сахаръ называется въ общежитіи *леденцомъ*.

Виноградный сахаръ ($C_6\ H_{12}\ O_6$) встрѣчается во многихъ плодахъ: сливѣ, виноградѣ и др. Бѣлое порошкообразное вещество, часто замѣчаемое на высушенныхъ плодахъ, и есть виноградный сахаръ; онъ не такъ сладокъ, какъ тростниковый.

Сладкій вкусъ молока зависитъ отъ содержащагося въ немъ *молочнаго* сахара. Къ сахаристымъ веществамъ относятся еще *клѣтчатка*, *крахмалъ*, *камедь* ($C_6\ H_{10}\ O_5$) и др.

Обыкновенный спиртъ. Чистый спиртъ или алкоголь $C_2\ H_6\ O$ есть безцвѣтная жидкость съ пріятнымъ, опьяняющимъ запахомъ; имѣетъ ѣдкій и жгучій вкусъ; кипитъ при 78° и ни при какой, намъ извѣстной, низкой температурѣ не переходитъ въ твердое состояніе. Водка есть смѣсь изъ спирта и воды.

Кромѣ обыкновеннаго спирта, извѣстны еще *масляный*, *древесный* и другіе. При окисленіи спирты лишаются сначала части своего водорода и переходятъ въ такъ называемые *альдегиды*; послѣдніе, при дальнѣйшемъ окисленіи, обращаются въ кислоты.

13. Броженіе. *Броженіе* есть химическое явленіе. Между разными родами броженій, наиболѣе изслѣдовано и имѣетъ важное значеніе въ общежитіи — спиртовое броженіе. Оно заключается въ томъ, что сахаристое вещество въ присутствіи бѣлковаго распадается отъ дѣйствія дрожжей главнымъ образомъ на спиртъ и углекислый газъ. Дрожжи, какъ показали микроскопическія изслѣдованія, суть клѣточки низшихъ растеній. Зародыши этихъ организмовъ всегда есть въ воздухѣ; падая въ жидкость, способную къ броженію, и находя всѣ средства къ питанію, они развиваются, размножаются и умираютъ. Питаніе совершается на счетъ бѣлковыхъ и сахаристыхъ веществъ и за уничтоженіемъ тѣхъ или другихъ прекращается. Если дрожжи собрать и обсушить, то они не теряютъ способности возбуждать вновь броженіе, какъ только будутъ введены въ жидкость, способную бродить. Сладкіе соки растеній, заключая въ себѣ сахаристыя и бѣлковыя вещества, приходятъ при соприкосновеніи съ воздухомъ сами собою въ броженіе. Между такими соками замѣчателенъ виноградный, который послѣ броженія превращается въ виноградное вино. Если молодое, не вполнѣ выбродившее вино доканчиваетъ броженіе въ закупоренныхъ бутылкахъ, то получаются шипучія вина. Съ помощію дрожжей возбуждается броженіе въ хлѣбномъ тѣстѣ; освобождающійся при этомъ угольный ангидридъ увеличиваетъ объемъ тѣста и дѣлаетъ хлѣбъ пористымъ.

Для приготовленія пива, обливаютъ теплой водой солодъ и оставляютъ на нѣсколько часовъ при температурѣ 65—70°; получается сладкая жидкость (сусло); жидкость эту процѣживаютъ и варятъ до тѣхъ поръ, пока она не сдѣлается свѣтлою и прозрачною. Послѣ этого, прибавляютъ дрожжей для возбужденія броженія; перебродившая жидкость и есть пиво. При приготовленіи спирта, смѣшиваютъ ржаную муку (или вареный картофель) съ растертымъ ячменнымъ солодомъ, обливаютъ горячей водой и держатъ эту смѣсь при температурѣ 70°. Сладкую и охлажденную жидкость подвергаютъ броженію, прибавляя къ ней пивныхъ дрожжей. По окончаніи броженія, спиртъ отдѣляютъ отъ остальной массы посредствомъ перегонки.

14. Уксусная кислота. Для полученія уксусной кислоты ($C_4 H_4 O_2$), наливаютъ въ кадки перебродившее вино и подвергаютъ его вліянію воздуха; иногда для ускоренія прибавляютъ пивныхъ дрожжей. Образующійся при этомъ продуктъ очищаютъ и получаютъ уксусную кислоту. Эту же кислоту получаютъ еще при сухой перегонкѣ дерева. Безводная уксусная кислота представляетъ безцвѣтную жидкость съ чрезвычайно сильнымъ запахомъ; имѣетъ кислый вкусъ, весьма ядовита; растворима въ водѣ, и слабый растворъ ея называется въ общежитіи уксусомъ.

Кромѣ уксусной, извѣстны еще *муравьиная*, *масляная*, *стеариновая*, *пальмовая*, *олеиновая*, *щавелевая*, *янтарная*, *винная*, *лимонная* и другія органическія кислоты. На основаніи химическихъ свойствъ, органическія кислоты раздѣляютъ на нѣсколько порядковъ; кислотамъ каждаго порядка соотвѣтствуютъ спирты, изъ которыхъ чрезъ окисленіе получается большая часть кислотъ.

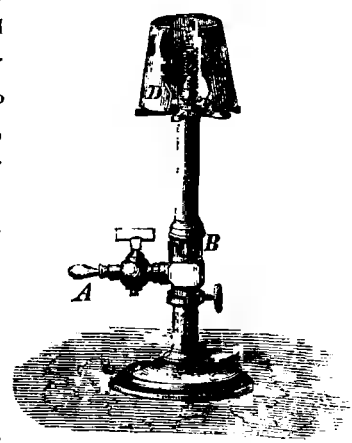
Синильная кислота CNH или ціанистый водородъ при температурѣ

ниже 27° есть жидкость, легко испаряющаяся, имѣетъ сильный горькоминдальный запахъ; въ высшей степени ядовита: одни испаренія ея способны убить человѣка. Чрезвычайно слабый растворъ ея употребляется въ медицинѣ подъ именемъ лавровишневой воды. Синильная кислота встрѣчается въ листьяхъ лавровишни, въ вишневыхъ косточкахъ, въ горькомъ миндалѣ и пр.

Синильную кислоту можно разсматривать какъ химическое соединеніе водорода съ *цианомъ* или *синеродомъ* CN. Синеродъ есть газъ, отличающійся слабымъ горькоминдальнымъ запахомъ; горитъ пурпуровымъ пламенемъ.

15. Эфиръ. При нагрѣваніи сѣрной кислоты съ равнымъ количествомъ крѣпкаго спирта, отдѣляются пары, которые по охлажденіи переходятъ въ жидкость, называемую *сѣрнымъ эфиромъ* ($C_4H_{10}O$). Эфиръ представляетъ весьма подвижную жидкость, быстро испаряется, нѣсколько растворимъ въ водѣ, легко воспламеняется и растворяетъ большую часть жирныхъ маслъ: имѣетъ характерный запахъ, знакомый всякому, кто употреблялъ гофманскія капли, которыя состоятъ изъ смѣси алкоголя и эфира. Каждому спирту соотвѣтствуетъ эфиръ; такимъ образомъ, мы знаемъ эфиры: масляный, бензойный, щавелевый и др.

16. Углеводороды. Углеродъ съ водородомъ даетъ цѣлый рядъ соединеній, такъ называемыхъ *углеводородовъ*. Между ними замѣтимъ *этиленъ* C_2H_4. Это газообразное тѣло составляетъ главную часть газа, употребляемаго для освѣщенія. Получается свѣтильный газъ при накаливаніи каменнаго угля въ закрытыхъ котлахъ, но не чистый, а въ смѣси съ другими продуктами. Чистый же газъ безцвѣтенъ, не пахучъ, почти нерастворимъ въ водѣ и горитъ яркимъ пламенемъ. Этотъ же газъ образуется при разложеніи сала, масла и другихъ жирныхъ веществъ во время горѣнія. При горѣніи, свѣтильный газъ распадается на углеродъ и водородъ, которые, соединяясь потомъ съ кислородомъ, переходятъ въ угольный ангидридъ и воду. Яркость пламени этого газа зависитъ отъ накаленныхъ частицъ углерода. Если отнять отъ пламени угольную пыль, то свѣтъ значительно ослабляется. Если напримѣръ къ свѣтильному газу примѣшать воздухъ, то угольная пыль, тотчасъ по освобожденіи изъ углеводорода, сгораетъ, соединяясь съ кислородомъ воздуха. Таково пламя горѣлки Бунзена. Этотъ приборъ состоитъ изъ вертикальной металлической трубки BC (фиг. 682), соединенной нижнею частію, помощію трубки A, съ газопроводной трубкой: газъ, выходящій чрезъ верхній конецъ C, зажигаютъ. У основаніи трубки BC



Фиг. 682.

есть отверстія *B*, которыя по произволу можно открыть и закрыть. Если они открыты, то чрезъ нихъ входитъ воздухъ, смѣшивающійся съ свѣтильнымъ газомъ, и свѣтъ пламени тотчасъ же ослабляется. Надъ горѣлкой *C* располагаютъ жестяной колпакъ *D*. Примѣшиваніе воздуха къ свѣтильному газу производитъ еще одно важное явленіе: по причинѣ быстраго сгоранія углерода, освобождается большое количество тепла. Отъ этого, несвѣтящееся пламя горѣлки Бунзена имѣетъ болѣе высокую температуру, нежели свѣтлое, и употребляется въ лабораторіяхъ во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, гдѣ имѣется надобность въ усиленномъ отдѣленіи тепла.

Пламя свѣчи (фиг. 683) состоитъ изъ трехъ частей: темной внутренней *a*, яркой средней *b* и едва замѣтной, синеватаго цвѣта, наружной *c*. Внутренняя часть состоитъ изъ свѣтильнаго газа; здѣсь, по недостатку кислорода, не происходитъ горѣнія, а, слѣдовательно, и нѣтъ той высокой температуры, которая необходима для накаливанія частицъ углерода. Накаленными онѣ являются въ средней части, гдѣ происходитъ горѣніе; во внѣшней, напротивъ, весь углеродъ сгораетъ на счетъ кислорода воздуха, почему эта часть, не содержа свободнаго углерода, весьма блѣдна.

Фиг. 683.

Кромѣ этилена, къ углеводородамъ принадлежатъ: *болотный газъ* (CH_4), терпентинное масло или скипидаръ, бензолъ, бензинъ, нефть, фотогенъ и пр. Нефть есть смѣшеніе многихъ углеводородовъ, газообразныхъ, жидкихъ и даже твердыхъ, которые кипятъ при разной температурѣ; керосинъ добывается изъ нефти и состоитъ изъ жидкихъ углеводородовъ, которыхъ точка кипѣнія не ниже 120° и не выше 300°.

17. Металлы. Металлами, какъ въ общежитіи, такъ и въ наукѣ называютъ тѣла, отличающіяся особымъ металлическимъ блескомъ, звонкостью, тягучестью, ковкостью и др., но строгаго различія между металлами и металлоидами не существуетъ. Металлы весьма рѣдко встрѣчаются въ природѣ въ чистомъ видѣ или самородными, какъ напримѣръ золото, серебро, платина и др., но большею частію въ соединеніи съ кислородомъ, сѣрою, угольнымъ ангидридомъ и др., образуя *руды*. Одни изъ металловъ, и притомъ немногіе, употребляются въ чистомъ видѣ, другіе въ видѣ *сплавовъ*. Сплавы для артиллерійскихъ орудій, колоколовъ, телескопическихъ зеркалъ и бронза состоятъ изъ мѣди и олова въ различныхъ пропорціяхъ. Желтая мѣдь или *латунь* и *томбакъ*—сплавы мѣди и цинка, *нейзильберъ*—мѣди, цинка и никкеля. Сплавъ для типографическихъ буквъ состоитъ изъ свинца и сурьмы.

Соединеніе металловъ со ртутью называются *амальгамами*; такимъ образомъ, имѣются каліева, натріева, цинковая, оловянная, серебряная, золотая и другія амальгамы. Оловянная амальгама употребляется для наведенія зеркалъ; для этого, отполированное стекло покрываютъ амальгамой и слегка нагрѣваютъ; ртуть испаряется, а на стеклѣ остается тонкій слой олова. Серебряная и золотая амальгамы употребляются для золоченія и серебренія: очищенную металлическую вещь, напримѣръ мѣдную, покрываютъ амальгамой и подвергаютъ нагрѣванію; ртуть испаряется, а серебро и золото остаются.

Къ сплавамъ можно отнести еще соединенія желѣза съ углеродомъ: *сталь* и *чугунъ*; первая содержитъ меньше углерода (до $1^1/_2$ %), нежели второй (до 5%).

Всѣ металлы соединяются съ кислородомъ и даютъ *окислы*, которые по количеству кислорода называются *закисями*, *окисями*, *перекисями* и *кислотами*; наименьшее количество кислорода находится въ закиси, наибольшее въ кислотѣ.

При дѣйствіи металловъ или ихъ окисловъ на кислоты, получаются *соли*. Соль есть кислота, въ которой водородъ замѣщенъ металломъ; такъ, чрезъ замѣненіе въ сѣрной кислотѣ (H_2SO_4) водорода металломъ, напр. цинкомъ, получаемъ $ZnSO_4$—цинковый купоросъ. Названіе солей образуется изъ двухъ словъ, изъ которыхъ первое есть прилагательное, составленное изъ названія кислоты и металла, а второе —существительное, общее для всѣхъ соединеній: *соль*. Такимъ образомъ, ляписъ $AgNO_3$ называется азотносеребряная соль, мѣдный купоросъ $CuSO_4$ — сѣрномѣдная соль, желѣзный купоросъ $FeSO_4$ — сѣрножелѣзная соль. Если весь водородъ кислоты замѣщенъ металломъ, то соль называется *среднею*, если же только часть водорода, то—*кислою*. Такимъ образомъ, замѣняя въ сѣрной кислотѣ H_2SO_4 одинъ пай водорода каліемъ, получимъ $HKSO_4$—кислую сѣрнокаліеву соль, а замѣщая весь водородъ тѣмъ же металломъ, будемъ имѣть K_2SO_4— среднюю сѣрнокаліеву соль.

Бумажка, окрашенная въ синій цвѣтъ лакмусова раствора, въ кислотѣ и въ кислой соли краснѣетъ. Большая часть металлическихъ окисловъ дѣйствуетъ противоположно кислотамъ: красная лакмусовая бумажка, опущенная въ растворъ металлическаго окисла, получаетъ прежній синій цвѣтъ. Въ средней соли и окислѣ синяя бумажка не измѣняется въ цвѣтѣ. Желтый настой инбиря имѣетъ обратныя свойства: бумажка, имъ окрашенная, бурѣетъ въ окислѣ и не измѣняется въ кислотѣ и средней соли; бурый цвѣтъ возстановляется кислотой въ желтый. Настой изъ фіалокъ имѣетъ синій цвѣтъ, который отъ кислоты

краснѣетъ, а отъ окисла дѣлается зеленымъ. Окислы, измѣняющіе желтый цвѣтъ инбиря въ бурый, синій цвѣтъ фіалковаго настоя— въ зеленый и красный цвѣтъ лакмуса—въ синій, называются вообще *щелочами* и *основаніями*; таковы KHO и $NaHO$. HN_3 также имѣетъ щелочныя свойства.

18. Калій, натрій и кальцій—металлы бѣлаго серебристаго цвѣта (кальцій желтоватъ), съ сильнымъ блескомъ, который скоро тускнѣетъ чрезъ окисленіе металла въ кислородѣ воздуха; разлагаютъ воду съ освобожденіемъ водорода. Калій и натрій легче воды, и потому на ней плаваютъ; въ случаѣ калія, освобождающійся водородъ, по причинѣ высокой температуры, самъ собою воспламеняется и горитъ фіолетовымъ пламенемъ; этотъ цвѣтъ зависитъ отъ паровъ калія. Окиси этихъ металловъ обозначаются формулами K_2O (окись калія), Na_2O (окись натрія) и CaO (окись кальція). Послѣднее называется *негашеной известью*. Если присоединить къ ней одинъ пай воды (H_2O), то получается тѣло CaH_2O_2, называемое *гашеною известью*. Известь употребляется при постройкѣ зданій для связыванія кирпичей и камней.

Металлъ магній сѣраго цвѣта съ слабымъ металлическимъ блескомъ; имѣетъ замѣчательное свойство горѣть въ воздухѣ, издавая ослѣпительный свѣтъ; иногда употребляютъ для освѣщенія проволоки или полоски магнія, которыя, по мѣрѣ сгоранія, подвигаются впередъ особаго рода снарядами. При горѣніи получается окись магнія, называемая *магнезіею*.

Описанные металлы, къ которымъ относятся также литій, барій, стронцій, алюминій и проч., называются *легкими*, потому что имѣютъ весьма малый удѣльный вѣсъ; всѣ они жадно соединяются съ кислородомъ, а потому не употребительны въ общежитіи и не встрѣчаются въ природѣ въ чистомъ видѣ.

Металлы: марганецъ, желѣзо. мѣдь, олово, свинецъ, цинкъ и проч., называемые, по причинѣ значительнаго удѣльнаго вѣса, *тяжелыми*, мало измѣняются при обыкновенной температурѣ подъ вліяніемъ кислорода воздуха, и потому многіе изъ нихъ въ общежитіи употребительны.

Благородными называются металлы, которые, вовсе не измѣняются при обыкновенной температурѣ и только окисляются въ сильномъ жару, или при дѣйствіи сильныхъ кислотъ; сюда принадлежатъ: ртуть. серебро, платина и золото.

19. Металлы, соединяясь съ кислотами, даютъ множество солей: изъ нихъ наиболѣе употребительны въ общежитіи слѣдующія:

Призматическая селитра или азотнокаліева соль KNO_3 отличается острымъ прохлаждающимъ вкусомъ; кристаллизуется въ видѣ

призмъ; имѣетъ обширное употребленіе. Смѣсь селитры, сѣры и угля, въ надлежащей пропорціи и особеннымъ образомъ обработанная, называется порохомъ; въ прикосновеніи съ раскаленнымъ тѣломъ, порохъ загорается и превращается въ газы, которые, помѣщаясь въ моментъ *образованія въ маломъ пространствѣ, имѣютъ громадную упругость* и при послѣдующемъ затѣмъ расширеніи производятъ взрывъ; вотъ почему порохъ употребляется въ огнестрѣльномъ искусствѣ.

Большое сходство съ призматической селитрой представляетъ кубическая селитра или азотнонатріева соль $NaNO_3$.

Хлористый натрій $NaCl$ *составляетъ бо́льшую часть солей каменной* и *поваренной*; первая залегаетъ иногда толстыми и обширными пластами внутри земли, вторая добывается изъ морской и иногда озерной воды.

Углекаліева соль K_2CO_3 входитъ въ составъ *поташа*, добываемаго изъ золы растеній, произрастающихъ внутри материковъ. Угленатріева соль Na_2CO_3 или *сода* извлекается изъ золы приморскихъ растеній. Поташъ и сода употребляются между прочимъ при приготовленіи мыла и стекла.

Сало состоитъ изъ соединеній кислотъ: *стеариновой*, *олеиновой*, *пальмовой* и другихъ *съ глицериномъ*. Чистый глицеринъ представляетъ густую, непахучую сладкую жидкость, способную растворяться въ водѣ и спиртѣ. Олеинъ—прозрачная жидкость, употребляемая иногда для освѣщенія. Большая часть массы стеариновыхъ свѣчей состоитъ изъ стеариновой кислоты, а пальмовыхъ свѣчей — изъ пальмовой кислоты. При дѣйствіи кипящаго раствора поташа или соды на расплавленное сало, кислоты сала вытѣсняютъ угольный ангидридъ, соединяясь съ металлами каліемъ или натріемъ и образуя продуктъ, называемый мыломъ. Такимъ образомъ, мыло есть соль жирной органической кислоты съ металлами каліемъ или натріемъ. Вмѣсто сала, можно взять какое нибудь жирное масло: конопляное, оливковое и др.

Для приготовленія стекла смѣшиваютъ въ надлежащей пропорціи соду или поташъ съ кремнеземомъ и известью и смѣсь накаливаютъ до тѣхъ поръ, пока масса не сдѣлается жидкою; при этомъ отдѣляется CO_2. (Кремнеземъ есть соединеніе элемента *кремнія* съ кислородомъ; встрѣчается въ природѣ въ видѣ горнаго хрусталя, кварца, песку и проч.). Полученная такимъ образомъ масса и есть стекло. Стеклянныя вещи приготовляютъ или выдуваніемъ, или отливкой. Между различными родами стеколъ замѣтимъ кронгласъ или обыкновенное стекло, и флинтгласъ. Флинтгласъ вмѣсто извести содержитъ окись свинца; онъ тяжелѣе, мягче и легкоплавче кронгласа.

Гипсъ или сѣрноизвестковая соль $CaSO_4$ употребляется при лѣпныхъ работахъ и приготовленіи статуэтокъ. Если смѣшать гипсъ въ видѣ порошка съ достаточнымъ количествомъ воды, то можно получить родъ тѣста, которое скоро твердѣетъ на воздухѣ, сохраняя форму и

всѣ неровности сосуда. Лучшій (очищенный) гипсъ называется *алебастромъ*.

Мѣлъ, мраморъ, исландскій шпатъ состоятъ преимущественно изъ углеизвестковой соли $CaCO_3$, которая при накаливаніи разлагается на угольный ангидридъ и известь. Угольный ангидридъ легко вытѣсняется изъ соединеній почти всѣми кислотами; такъ, при обливаніи мрамора хлористоводородною кислотою выдѣляется угольный ангидридъ.

ПРИБАВЛЕНІЕ II.

Приложеніе физики къ объясненію атмосферныхъ явленій.

1. Составъ и высота атмосферы; метеоры.—Атмосфера окружаетъ землю со всѣхъ сторонъ; высота ея не менѣе 200 верстъ и у экватора должна быть больше, нежели у полюсовъ, потому что экваторіальнымъ странамъ соотвѣтствуетъ наименьшая величина силы тяжести и наивысшая температура.

Главныя составныя части атмосфернаго воздуха азотъ и кислородъ; на 78 частей по объему перваго приходится 21 часть второго. Во всѣхъ странахъ земного шара, на всѣхъ высотахъ, этотъ составъ не измѣняется. Къ воздуху примѣшаны въ большемъ или меньшемъ количествѣ (около 1%) пары воды, углекислый и другіе газы. Углекислый газъ образуется преимущественно отъ дыханія животныхъ и горѣнія, а растенія, вдыхая въ себя этотъ газъ, разлагаютъ его, задерживаютъ углеродъ и выдыхаютъ кислородъ. Есть въ воздухѣ еще газообразныя, вредныя для человѣка и животныхъ, вещества, называемыя *міазмами*, которыя встрѣчаются преимущественно въ болотистыхъ мѣстахъ и до сихъ поръ мало изслѣдованы.

Кромѣ того, нерѣдко кислородъ воздуха подъ вліяніемъ атмосфернаго электричества превращается частію въ озонъ.

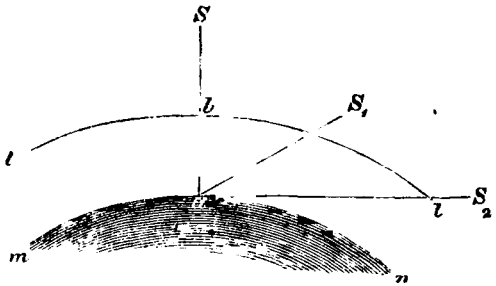
Явленія, совершающіяся въ атмосферѣ, называются *метеорами*. Метеоры происходятъ отъ трехъ причинъ: теплорода, электричества и свѣта.

Явленія, зависящія отъ теплорода.

2. Вліяніе атмосферы на нагрѣваніе земной поверхности. Міровое пространство имѣетъ весьма низкую температуру; Пулье полагаетъ ее въ—140°. Чрезъ эту холодную среду, теплородные лучи небесныхъ тѣлъ проходятъ по всѣмъ направленіямъ, не измѣняя однакожъ ея температуры; встрѣчая на пути нетеплопрозрачное тѣло, они поглощаются. Такимъ образомъ, земной шаръ получаетъ со всѣхъ сторонъ теплородные лучи, но только солнечные лучи оказываютъ вліяніе; теплота прочихъ небесныхъ свѣтилъ не ощутительна.

Теплородные лучи солнца, проходя чрезъ воздухъ, задерживаются въ большей или меньшей степени, въ зависимости отъ длины прой-

деннаго ими пути въ атмосферѣ. Пусть *man* (фиг. 1)—земля и *ll*—граница атмосферы. Если солнце *S* находится въ зенитѣ мѣста *a*, то лучи достигаютъ *a*, пройдя наименьшій путь *ab*, и испытываютъ поэтому наименьшую потерю; чѣмъ высота солнца меньше, тѣмъ больше этотъ путь и больше поглощеніе; наибольшая потеря будетъ, когда солнце S_2 въ горизонтѣ. Въ высшихъ слояхъ атмосферы воздухъ весьма рѣдокъ, и потому теплопрозраченъ. Солнечные лучи проходятъ чрезъ него безъ задержки, и онъ остается весьма холоденъ. Только въ низшихъ слояхъ атмосферы бываетъ значительное поглощеніе. Если принять толщину поглощающаго слоя равною 3 верстамъ, то длина горизонтальнаго луча *al* будетъ болѣе вертикальнаго *ab* въ 30 слишкомъ разъ. Пулье изъ своихъ опытовъ заключилъ, что при горизонтальномъ направленіи теплородныхъ лучей и при самомъ чистомъ воздухѣ доходитъ до земли отъ 0,5 до 0,6, а по наблюденіямъ Секки только 0,16 всей теплоты, упавшей на атмосферу, между тѣмъ какъ при отвѣсномъ направленіи 0,8.



Фиг. 1.

Если воздухъ содержитъ сгущенный паръ, наприм. въ видѣ облака, то до земной поверхности достигаетъ ничтожное количество теплоты. Сухой воздухъ въ нижнихъ слояхъ атмосферы также много задерживаетъ теплоты. Напротивъ прозрачный паръ, т. е. не перешедшій въ жидкое состояніе, но близкій къ состоянію насыщенія, увеличиваетъ прозрачность атмосферы, какъ для свѣтовыхъ, такъ и для теплородныхъ лучей. Къ этому заключенію приводитъ насъ съ одной стороны всѣмъ извѣстное явленіе, что отдаленные предметы, напр. гребни горъ, лучше видны при влажномъ водухѣ, чѣмъ при сухомъ, съ другой—опыты Жамена и Массона, по которымъ средины, прозрачныя для какихъ либо цвѣтныхъ лучей, теплопрозрачны и для лучей тепла тѣхъ же показателей преломленія. Наконецъ, въ высшихъ слояхъ атмосферы воздухъ, сколько бы ни было въ немъ прозрачнаго пара, одинаково пропускаетъ теплородные и свѣтовые лучи.

Днемъ, послѣ восхода солнца, земля нагрѣвается и начинаетъ лучеиспускать въ небесныя пространства. Воздухъ, теплопрозрачный для лучей большихъ показателей преломленія, мало прозраченъ для лучей слабой преломляемости. Нагрѣтая почва испускаетъ только темную теплоту, т. е. лучи, наименѣе преломляющіеся, которые не могутъ проникнуть чрезъ воздухъ. Они нагрѣваютъ атмосферу и преимущественно ея нижніе слои. Здѣсь происходитъ совершенно то же явленіе, что и въ парникахъ: теплородные лучи солнца, обладающіе большими показателями преломленія, проникаютъ чрезъ стекло, а лучи нагрѣтой почвы задерживаются.

Ночью, когда надъ горизонтомъ нѣтъ дневного свѣтила, нѣтъ притока солнечной теплоты, и земля вмѣстѣ съ воздухомъ мало по малу охлаждаются, никогда однакоже не достигая температуры небеснаго пространства.

Отсюда видимъ, что воздухъ оказываетъ двойное дѣйствіе: съ одной стороны, мало задерживая солнечную теплоту, онъ даетъ возможность нагрѣваться земной поверхности, съ другой, задерживая земную теплоту, самъ нагрѣвается и предохраняетъ землю отъ слишкомъ сильнаго охлажденія. Когда нѣтъ притока тепла, какъ напр. зимою и даже лѣтомъ ночью,—чѣмъ воздухъ непрозрачнѣе, тѣмъ температура выше; самые сильные холода наблюдаются при безоблачномъ небѣ, зимою.

Касательно вліянія водяного пара на прозрачность воздуха существуетъ слѣдующее весьма вѣроятное мнѣніе, отчасти оправданное прямыми наблюденіями. Воздухъ, совершенно очищенный отъ постороннихъ веществъ, остается одинаково теплопрозрачнымъ, будетъ ли онъ сухой, или смѣшанъ съ водянымъ, ненасыщающимъ свое пространство, паромъ въ большемъ или меньшемъ количествѣ. Слѣдовательно, водяной паръ самъ по себѣ, непосредственно, не измѣняетъ теплопрозрачности атмосферы; онъ оказываетъ вліяніе косвенное. Атмосфера населена огромнымъ количествомъ микроскопическихъ организмовъ (животныхъ, или растеній), отъ которыхъ, если паровъ немного, она становится менѣе прозрачною, что и въ самомъ дѣлѣ наблюдается во время засухъ. Большое количество водяного пара, близкаго къ состоянію насыщенія, дѣлаетъ воздухъ прозрачнымъ. Можетъ быть, увлажая эти организмы, онъ дѣлаетъ ихъ прозрачными, или увеличиваетъ ихъ вѣсъ, и они падаютъ на землю. Эти организмы населяютъ самые нижніе слои атмосферы. Въ высшихъ слояхъ воздухъ рѣдокъ, но, не смотря на свойственную ему сухость, теплопрозраченъ, по причинѣ отсутствія упомянутыхъ организмовъ. Поэтому, на плоскихъ возвышенностяхъ (Тибетъ, Квито) бываютъ самые сильные жары и самые сильные холода: днемъ лучи солнца почти безъ задержки достигаютъ земли, ночью земля свободно лучеиспускаетъ теплоту и охлаждается значительно ниже температуры воздуха.

Вліяніе косвенности паденія лучей.—Нагрѣваніе земной поверхности солнечными лучами зависитъ еще отъ косвенности ихъ паденія. Изъ физики извѣстно, что количество падающаго на какую либо площадь тепла прямо пропорціонально синусу угла, составляемаго лучами съ этой площадью. Значитъ, чѣмъ ближе направленіе лучей къ отвѣсному, тѣмъ сильнѣе производимое ими нагрѣваніе. Отъ разстоянія между солнцемъ и землею нагрѣваніе не зависитъ, потому что разстояніе это весьма мало измѣняется.

3. Измѣненіе температуры. Въ разныхъ точкахъ земной поверхности и даже въ одномъ и томъ же мѣстѣ, но въ разное время года и сутокъ, температура воздуха бываетъ неодинакова. Она измѣряется термометромъ, который долженъ быть поставленъ вдали отъ зданій и защищенъ отъ дождя, лучей солнца и проч. Предосторожности эти необходимы для того, чтобы термометръ показывалъ только температуру воздуха, независимо отъ всякихъ другихъ обстоятельствъ.

Чтобы найти законъ дѣйствія солнечной теплоты на землю, берутъ *среднюю* изъ наблюденныхъ температуръ; этимъ названіемъ обозначается число, получаемое отъ раздѣленія суммы замѣченныхъ температуръ на ихъ число. Если напр. впродолженіе года будемъ замѣчать температуру каждый день, въ одинъ и тотъ же часъ сутокъ. напр. въ 10 часовъ утра, сложимъ наблюденныя величины и раздѣлимъ на 365, то получимъ среднюю температуру этого часа. Средняя температура имѣетъ весьма важное значеніе. Если въ иное время нѣкоторыя обстоятельства, какъ напр. ясный день, теплый вѣтеръ, возвышаютъ температуру воздуха, то конечно бываютъ и противоположныя явленія: покрытое облаками небо, холодный вѣтеръ, отъ которыхъ температура понижается. Въ суммѣ вліяніе этихъ случайностей будетъ уменьшено и даже совершенно уничтожилось бы, если бы каждой неправильности соотвѣтствовала равная ей и противоположная; чѣмъ болѣе сдѣлано наблюденій, тѣмъ болѣе вѣроятенъ найденный результатъ. Слѣдовательно, средняя температура показываетъ весьма близко только дѣйствіе солнечныхъ лучей, независимо отъ всякихъ другихъ обстоятельствъ, и при томъ такъ, какъ если бы тепло, получаемое землею отъ солнца въ каждую единицу времени, было всегда одно и то же.

Средняя температура сутокъ найдется, если сложимъ температуры, наблюденныя черезъ каждый часъ, и сумму раздѣлимъ на 24; чтобы получить среднюю температуру мѣсяца, складываютъ среднія температуры всѣхъ сутокъ этого мѣсяца и сумму дѣлятъ на число сутокъ; если сложить среднія температуры мѣсяцевъ какого-либо года и сумму раздѣлить на 12, то найдемъ среднюю температуру этого года. Средняя температура, взятая за многіе годы, называется *среднею температурою мѣста*; она почти постоянна; напр., средняя температура за 20 лѣтъ равна средней температурѣ за другіе 20 лѣтъ.

Наибольшая и наименьшая температуры.—Впродолженіе сутокъ средняя температура часа измѣняется: одинъ разъ достигаетъ наибольшей и разъ наименьшей величинъ; первая бываетъ въ три часа по полудни, вторая—незадолго до восхода солнца. Это явленіе объясняется слѣдующимъ образомъ. Начиная съ восхода солнца, теплородные лучи этого свѣтила постепенно приближаются къ отвѣсному направленію, отъ чего дѣйствіе ихъ увеличивается; по мѣрѣ нагрѣванія земной поверхности, возрастаетъ ея лучеиспускательная сила; но какъ расходъ тепла менѣе прихода, то температура увеличивается. При дальнѣйшемъ возвышеніи солнца надъ горизонтомъ. притокъ теплорода продолжаетъ возрастать и въ полдень, во время наибольшей высоты солнца, достигаетъ наибольшей величины; но не тогда еще бываетъ время наибольшей температуры, потому что въ это мгновеніе притокъ тепла превышаетъ расходъ. Послѣ полудня, когда лучи солнца начинаютъ косвеннѣе падать на земную поверхность, притокъ тепла уменьшается, но расходъ, отъ продолжающагося возвышенія температуры, все-еще увеличивается, а потому будетъ такое мгновеніе, когда приходъ сдѣлается равнымъ расходу; это и будетъ время наибольшей температуры. Потомъ. расходъ дѣлается

больше прихода, и земля начинаетъ охлаждаться. Съ пониженіемъ температуры уменьшается лучеиспусканіе. Ночью остается только одинъ расходъ, который продолжаетъ убывать, и незадолго до восхода солнца становится такъ малъ, что вознаграждается тѣмъ ничтожнымъ количествомъ теплорода, которое отражаютъ частицы верхнихъ слоевъ атмосферы съ появленіемъ утренней зари. Въ эту пору температура бываетъ наименьшая. Затѣмъ, явленіе повторяется въ прежнемъ порядкѣ.

Многочисленныя наблюденія показали, что средняя изъ наибольшей и наименьшей температуръ равна средней температурѣ сутокъ.

Самая высокая температура, которая когда либо наблюдалась, замѣчена у Евфрата и равна 44°,4 (Р), наименьшая—67°,5 въ Сибири.

Впродолженіе года температура, измѣняясь, достигаетъ около 10-го іюля наибольшей величины и около половины января—наименьшей. Объясненіе этого явленія подобно предыдущему. Начиная съ 9-го марта, когда день бываетъ равенъ ночи, продолжительность дня и полуденная высота солнца увеличиваются, а вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается количество получаемой землею теплоты; однакоже наибольшая температура не соотвѣтствуетъ наибольшей продолжительности дня и наибольшей полуденной высотѣ солнца (10-го іюня), потому что тогда земля менѣе изъ себя испускаетъ теплоты, нежели пріобрѣтаетъ, и температура ея продолжаетъ возрастать. Но, вслѣдствіе уменьшенія притока теплоты и увеличенія потери на лучеиспусканіе, будетъ мгновеніе, когда притокъ и потеря сдѣлаются равными, что случается около 10-го іюля; въ это время бываетъ наибольшая температура. Потомъ, температура понижается, но наименьшей величины достигаетъ послѣ того, какъ бываетъ наименьшая долгота дня и самая малая полуденная высота солнца (10-го декабря), потому что хотя съ этого мгновенія притокъ тепла начинаетъ увеличиваться, но онъ менѣе расхода, и температура продолжаетъ убывать до половины января, когда приходъ и расходъ дѣлаются равными; это и будетъ время наименьшей температуры. Затѣмъ, приходъ начинаетъ превышать расходъ, и температура возвышается до своей наибольшей величины.

4. Неравномѣрное распредѣленіе тепла на земной поверхности.—Мѣста, лежащія на одномъ меридіанѣ, имѣютъ неодинаковую среднюю температуру; она уменьшается отъ экватора по обѣ стороны его къ полюсамъ. Главнѣйшая причина тому—полуденная высота солнца. Между тропиками солнце въ полдень бросаетъ лучи на земную поверхность почти отвѣсно, и потому производитъ весьма сильное нагрѣваніе. Напротивъ, въ мѣстахъ, лежащихъ около полюсовъ, высота солнца бываетъ всегда незначительная, лучи его падаютъ почти горизонтально и отъ того дѣйствуютъ весьма слабо. Въ странахъ умѣреннаго пояса, гдѣ высота солнца въ полдень имѣетъ посредственную величину, температура бываетъ умѣренная.

Кромѣ этой главной причины, немаловажное вліяніе оказываютъ другія обстоятельства. Сюда преимущественно относятся: высота мѣста, направленіе вѣтровъ, близость морей и озеръ, теплыя морскія теченія, количество падающей воды изъ атмосферы и проч.

5. Высота мѣста.—Съ поднятіемъ надъ земною поверхностью, средняя температура и разность между наибольшей и наименьшей температурами становятся меньше. Это явленіе объясняется слѣдующимъ образомъ. Лучи солнца, проникая чрезъ атмосферу, нагрѣваютъ земную поверхность, которая въ свою очередь сообщаетъ теплоту нижнимъ слоямъ воздуха. Нагрѣтый воздухъ, по причинѣ своей относительной легкости, подымается, но, встрѣчая меньшее давленіе, расширяется и поэтому охлаждается *); когда температура его сдѣлается равною температурѣ окружающаго воздуха, то дальнѣйшее движеніе вверхъ прекращается. Поэтому, восходящее теченіе нагрѣтаго воздуха должно имѣть предѣлъ, далѣе котораго оно распространяться не можетъ; чѣмъ менѣе воздухъ нагрѣтъ, тѣмъ ниже онъ подымается. Слѣдовательно, по мѣрѣ удаленія отъ земной поверхности, температура должна уменьшаться, а вмѣстѣ съ тѣмъ и разность между наибольшей и наименьшей температурами.

Въ такомъ видѣ явленіе дѣйствительно наблюдается на аэростатахъ и уединенныхъ горахъ. Не такъ бываетъ на плоскихъ возвышенностяхъ. Здѣсь теплородные лучи солнца, мало задерживаемые воздухомъ, сильно нагрѣваютъ земную поверхность, но зато ночью, по причинѣ теплопрозрачности воздуха, земля быстро охлаждается. Поэтому, лѣта здѣсь знойныя и зимы холодныя; переходъ отъ дня къ ночи также весьма рѣзокъ.

Восходя по высокой горѣ, мы замѣчаемъ тѣ же явленія, какъ при переходѣ отъ экватора къ полюсу; температура постепенно понижается, а соотвѣтственно тому измѣняется растительность. Подымаясь, напр., на высокую гору тропическаго пояса, мы встрѣчаемъ у подошвы ея пальмы и другія растенія жаркаго климата; восходя далѣе, находимъ лимонныя и лавровыя деревья, потомъ дубъ, березу, сосну, далѣе кустарники, мхи; наконецъ, растительность исчезаетъ; затѣмъ, начинаются вѣчные снѣга.

6. Направленіе вѣтра.—Направленіе господствующихъ вѣтровъ оказываетъ большое вліяніе на температуру мѣста; если преобладающіе вѣтры теплые и влажные, то температура возвышается; обратно, холодные и сухіе вѣтры понижаютъ температуру.

Въ сѣверномъ умѣренномъ поясѣ преобладаютъ два вѣтра: сѣверо-восточный и юго-западный, въ южномъ—юго-восточный и сѣверо-западный.

Въ Европѣ, особенно по западнымъ берегамъ ея, юго-западный вѣтеръ тепелъ и напитанъ парами, такъ какъ онъ дуетъ изъ теплыхъ странъ и съ моря, а сѣверо-восточный холоденъ и сухъ, потому что приходитъ изъ странъ холодныхъ и идетъ по материку,

---

*) Опыты показываютъ, что газы при расширеніи охлаждаются только въ томъ случаѣ, если при этомъ производятъ механическую работу. Въ атмосферѣ именно такъ и бываетъ, потому что воздухъ при расширеніи долженъ преодолѣть давленіе окружающихъ его массъ; сверхъ того, теплота расходуется на поднятіе самого воздуха.—Кромѣ указанной причины уменьшенія температуры съ высотою, существуетъ еще другая: это—осажденіе водяного пара и выдѣленіе скрытой теплоты, преимущественно въ нижнихъ слояхъ атмосферы.

гдѣ оставляетъ бо́льшую часть своей влаги. Юго-западный вѣтеръ, принося съ собою большое количество паровъ, способствуетъ образованію водяныхъ метеоровъ: дождя и проч. Но какъ при переходѣ воды изъ газообразнаго состоянія въ жидкое освобождается значительное количество скрытаго теплорода, то температура воздуха отъ того еще болѣе увеличивается. Напротивъ, сѣверо-восточный вѣтеръ понижаетъ температуру, какъ потому, что онъ самъ по себѣ холоденъ, такъ и отъ того, что, по причинѣ его сухости, вода легко испаряется.

7. Близость моря. — Близость моря возвышаетъ температуру и дѣлаетъ ее болѣе однообразною. Во время лѣта теплородные лучи солнца нагрѣваютъ не одну только поверхность воды, какъ это бываетъ съ землею, но цѣлый слой значительной толщины, потому что вода есть тѣло довольно прозрачное. При этомъ вода испаряется и поглощаетъ теплородъ, переводя его въ скрытое состояніе. По причинѣ большей теплоемкости, вода для нагрѣванія требуетъ много тепла, и потому нагрѣвается мало. Отъ этого, въ приморскихъ странахъ лѣтній зной умѣряется, и жары не бываютъ такъ сильны, какъ въ серединѣ материка. Зимою происходитъ обратное явленіе: вода уменьшаетъ холодъ. Море охлаждается гораздо медленнѣе материка, потому что охлажденныя частицы воды на поверхности опускаются, какъ болѣе тяжелыя, и замѣщаются нижними, болѣе теплыми, которыя потомъ, въ свою очередь, охлаждаются. Кромѣ того, въ приморскихъ странахъ воздухъ, притекающій съ моря, напитанъ парами, которые, переходя въ капельное состояніе, освобождаютъ скрытый теплородъ. Близость моря болѣе уменьшаетъ зимній холодъ, чѣмъ умѣряетъ лѣтній зной, и, слѣдовательно, должна возвышать среднюю температуру года. Въ подтвержденіе сказаннаго приводится таблица, изъ которой видно, что средняя температура тѣмъ болѣе, а разность между зимней и лѣтней температурами тѣмъ менѣе, чѣмъ мѣсто лежитъ западнѣе, хотя пять нижепоименованныхъ городовъ лежатъ почти на одной и той же широтѣ.

	Сѣвер. широта.	Вост. долгота.	Сред. темпер. года.	Сред. темпер. іюля.	Сред. темпер. январ.
Нерчинскъ.	51°58′	134°15′	—3°,4	14°,2	—22°,7
Иркутскъ.	52°17′	122° 1′	—0°,4	14°,8	—17°,0
Оренбургъ	51°46′	72°45′	2°.6	16°,8	—12°,5
Курскъ.	51°44′	53°51′	3°.9	15°,4	—7°.9
Варшава.	52°13′	38°42′	5°,8	15°,0	—3°,9

8. Вліяніе прѣсныхъ озеръ. — Прѣсная вода озеръ имѣетъ иное дѣйствіе, чѣмъ соленая морская. При пониженіи температуры ниже 4° (С), прѣсная вода перестаетъ опускаться на дно, потому что дѣлается менѣе плотною и чрезъ то быстро охлаждается. Такимъ образомъ, умѣряя лѣтній жаръ, прѣсныя озера мало умѣряютъ

зимній холодъ. Этимъ между прочимъ объясняется относительно низкая температура сѣверной Америки, гдѣ находится множество большихъ и малыхъ прѣсныхъ озеръ.

9. Климатъ. — Обстоятельства, имѣющія вліяніе на температуру, опредѣляютъ климатъ мѣста. Различаютъ двухъ родовъ климатъ: *континентальный* или *рѣзкій* и *морской* или *мягкій*. Первый отличается рѣзкими переходами отъ тепла къ холоду, холодною зимою, знойнымъ лѣтомъ, водяные метеоры весьма рѣдки. Въ странахъ, имѣющихъ морской климатъ, зимняя стужа и лѣтній жаръ умѣренные; земля обильно орошается атмосферною водою. Соотвѣтственно климату страны, въ ней воздѣлываются тѣ или другія растенія. Такъ, въ Астрахани вызрѣваетъ виноградъ, но каштанъ отъ зимнихъ стужъ погибаетъ; напротивъ, въ Англіи, по причинѣ ея прохладнаго лѣта, разведеніе винограда невозможно, между тѣмъ мягкая зима не мѣшаетъ произрастать каштану.

Водяные метеоры.

10. Съ поверхности океановъ и другихъ водныхъ пространствъ, а также съ поверхности влажной почвы, уносятся восходящими потоками воздуха въ атмосферу водяные пары. Чрезъ охлажденіе пары переходятъ въ жидкое состояніе и даютъ начало водянымъ метеорамъ; сюда принадлежатъ: роса, иней, туманъ, облака, дождь, снѣгъ, крупа и градъ.

11. Роса.—*Роса* есть капли воды, появляющіяся на листьяхъ растеній и на другихъ предметахъ, вскорѣ послѣ захода солнца. Происхожденіе ея объясняется слѣдующимъ образомъ. Во время жаркаго дня образуется много паровъ, но, послѣ заката солнца, земля и всѣ предметы начинаютъ быстро охлаждаться чрезъ лучеиспусканіе, между тѣмъ какъ воздухъ сохраняетъ почти столько же теплоты, такъ что разность температуръ атмосферы и земныхъ предметовъ иногда доходитъ до 12°. Болѣе всего охлаждается неполированная поверхность худыхъ проводниковъ, потому что такія поверхности обладаютъ большою лучеиспускательною способностію; эта потеря не вознаграждается притокомъ теплорода отъ внутреннихъ частей тѣла, такъ какъ въ худыхъ проводникахъ теплородъ передается медленно. Наконецъ, по достаточномъ охлажденіи, предметы покрываются каплями воды; то же самое замѣчаемъ на наружныхъ стѣнкахъ стакана съ холодной водой, внесеннаго въ теплую комнату. Чѣмъ болѣе разность между температурою дня и ночи, и чѣмъ болѣе въ воздухѣ паровъ, тѣмъ роса обильнѣе; отсюда понятно, почему такъ много бываетъ росы въ странахъ приморскихъ и особенно тропическаго пояса. Въ песчаныхъ степяхъ росы вовсе не замѣчается Она также не бываетъ во время вѣтра, или когда небо покрыто облаками. При вѣтрѣ слои воздуха безпрерывно мѣняются и не успѣваютъ достаточно охладиться отъ соприкосновенія съ земными тѣлами. При пасмурномъ небѣ, теплородные лучи, испускаемые землею, отражаются облаками назадъ, и земные предметы не могутъ

на столько охладиться сами и охладить прилегающій слой воздуха, чтобы пары, въ немъ заключающіеся, достигли состоянія насыщенія.

Если воздухъ весьма чистъ, то температура земли можетъ опуститься ниже 0°, и роса появляется въ видѣ ледяныхъ иглъ, хотя температура воздуха будетъ выше замерзанія; это и есть *ранніе морозы*, случающіеся весною и осенью, а иногда и лѣтомъ, и отъ которыхъ такъ страдаютъ молодыя растенія.

Зимою, во время холодовъ, всѣ земные предметы—деревья, зданія и проч.—охлаждаются весьма сильно; если потомъ воздухъ сдѣлается теплѣе, то изъ него осаждается на эти предметы роса въ видѣ чрезвычайно малыхъ кристалловъ; эта замерзшая роса называется *инсемъ*.

12. Туманъ и облака.—Если водяные пары не насыщаютъ пространства, то они, подобно воздуху, прозрачны, безцвѣтны и потому невидимы; но какъ скоро, вслѣдствіе охлажденія, пары переходятъ въ жидкое состояніе, то являются чрезвычайно малыя капли воды, которыя, когда ихъ много, представляются бѣлою непрозрачною массою. *Туманъ* есть именно такія водяныя капли; будучи весьма малы, онѣ испытываютъ большое сопротивленіе атмосферы, а потому падаютъ весьма медленно; если при этомъ есть хотя слабое теченіе снизу теплаго воздуха, то водяныя капли вовсе перестаютъ падать и даже подымаются, не смотря на то, что ихъ плотность гораздо болѣе плотности воздуха.

Пусть вода рѣки, озера или моря теплѣе атмосферы; тогда самый нижній слой воздуха напитается парами воды, нагрѣется и, сдѣлавшись легче, подымется; здѣсь онъ опять охладится, и пары перейдутъ въ капельное состояніе. Поднявшійся теплый воздухъ замѣстится холоднымъ и тяжелымъ, который, въ свою очередь, нагрѣется, наполнится парами и также подымется. Такимъ образомъ, надъ поверхностью воды туманъ какъ-бы растетъ, подымаясь все выше и выше. Такое явленіе можетъ случиться, спустя нѣсколько времени послѣ заката солнца, когда воздухъ достаточно охладится, между тѣмъ какъ вода будетъ еще имѣть почти прежнюю температуру, какъ по причинѣ большой теплоемкости, такъ и потому, что частицы ея, охлажденныя на поверхности чрезъ лучеиспусканіе, опускаются и замѣщаются болѣе теплыми.

Туманъ можетъ также образоваться отъ прикосновенія холоднаго воздуха съ теплой и влажной почвой.

Холодныя страны, омываемыя теплою водою,—самыя туманныя. Сюда принадлежитъ Ньюфаундлендъ. Находясь подъ высокими широтами, этотъ архипелагъ имѣетъ весьма холодный воздухъ; въ то же время вода омывающаго его моря имѣетъ сравнительно высокую температуру. Эта вода приносится морскимъ теченіемъ, которое называется *Гольфштремъ* или *Заливное Теченіе* и идетъ отъ экватора. То же теченіе достигаетъ береговъ западной Европы и дѣлаетъ Великобританію одною изъ самыхъ туманныхъ странъ, потому что температура воздуха ея значительно ниже температуры водъ Заливного Теченія.

13. Облако есть то же самое, что и туманъ, но только на большей высотѣ надъ земною поверхностью; туманъ, уносимый иногда восходящими теченіями воздуха, превращается въ облако; обратно, облако, опускающееся до земли, какъ это нерѣдко наблюдается въ гористыхъ мѣстахъ, превращается въ туманъ. Наконецъ, подымаясь по высокой горѣ, можно иногда достигнуть облака, которое тогда превращается въ туманъ; восходя далѣе, минуемъ туманъ и увидимъ ниже себя облако.

Плаваніе облаковъ объясняется такъ же, какъ и плаваніе мелкихъ водяныхъ капель тумана.

Облака, подобно туману, образуются чрезъ охлажденіе влажнаго воздуха, хотя и при другихъ условіяхъ. Вообразимъ двѣ массы холоднаго и теплаго воздуха и пусть ни та, ни другая не насыщены содержащимся въ нихъ паромъ. Если смѣшиваются такія двѣ массы воздуха, то можетъ случиться, что средняя температура упадетъ ниже температуры насыщенія пара, и тогда избытокъ пара перейдетъ въ жидкое состояніе.—Если надъ какимъ либо мѣстомъ земной поверхности окажется теплый нагрѣтый столбъ влажнаго воздуха, то, подымаясь, онъ охладится и также можетъ дать начало облаку.

Различаютъ три главныхъ вида облаковъ: *перистыя*, *кучевыя* и *слоистыя*. Перистыя облака имѣютъ видъ тонкихъ параллельныхъ волоконъ, направляющихся съ ЮЗ на СВ въ сѣверномъ полушаріи и съ СЗ на ЮВ—въ южномъ. Они состоятъ изъ ледяныхъ кристалловъ и находятся на недосягаемой высотѣ; потому-то они и кажутся намъ одинаково удаленными, смотримъ ли мы на нихъ изъ равнинъ, или съ вершинъ самыхъ высокихъ горъ.

Кучевыя облака имѣютъ полушарообразную форму и образуются восходящими атмосферными потоками. Они бываютъ только въ теплое время, потому что только тогда возможны восходящія теченія, и плаваютъ обыкновенно на незначительной высотѣ.

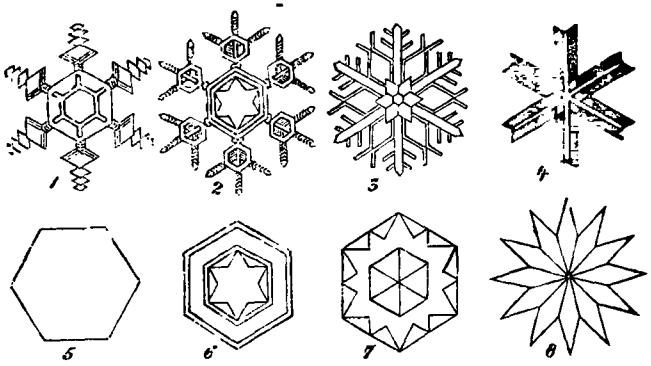
Слоистыя облака представляютъ горизонтальныя стѣнообразныя массы, появляющіяся при закатѣ солнца и исчезающія при восходѣ.

Кромѣ этихъ главныхъ формъ облаковъ, различаютъ еще переходныя: перисто-слоистыя, слоисто-кучевыя и перисто-кучевыя.

Дождевое облако отличается отъ предыдущихъ бо̀льшимъ скопленіемъ водяныхъ капель. Оно бываетъ столь густо, что не пропускаетъ чрезъ себя лучей солнца, и потому кажется болѣе или менѣе чернымъ.

14. Дождь и снѣгъ.—Если нѣтъ восходящаго теченія воздуха, то облако понижается, и если при паденіи встрѣчаетъ сухой воздухъ, то разрѣшается въ пары и исчезаетъ. Иногда существуетъ постоянная причина осажденія пара; тогда можетъ случиться, что съ одной стороны облако наростаетъ, а съ другой исчезаетъ въ сухомъ воздухѣ, или подъ вліяніемъ нагрѣвательной силы солнца. Если, наконецъ, падающіе водяные шарики, изъ которыхъ состоитъ облако, встрѣчаютъ теплый и влажный воздухъ, то они увеличиваются отъ осажденія на нихъ пара и падаютъ на землю въ видѣ болѣе или менѣе крупныхъ капель. Такимъ образомъ происходитъ

дождь. Когда температура воздуха ниже замерзанія, то на первую замерзшую частицу воды осаждаются другія и получается *снѣгъ*. Снѣжинки имѣютъ весьма разнообразныя формы; фиг. 2 изображаетъ



Фиг. 2.

8 такихъ формъ. Кристаллическій снѣгъ наблюдается только при тихомъ состояніи атмосферы. Если воздухъ облаковъ не спокоенъ, то снѣжинки скатываются въ шарики; этотъ метеоръ называется *крупою*.

Количество выпадающей изъ атмосферы воды весьма различно для разныхъ странъ; вообще замѣчено, что ея падаетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ мѣсто лежитъ ближе къ экватору. Страны гористыя или лежащія вблизи морей и озеръ по большей части обильно орошаются метеорическою водою; середины материковъ испытываютъ, напротивъ, въ ней постоянный недостатокъ; есть такія мѣста на земномъ шарѣ, гдѣ никогда не бываетъ дождя; таковы степь Сахара, Тибетъ, Перу. Если бы вода, падающая изъ атмосферы, не впитывалась землею, то она составила бы въ Петербургѣ слой толщиной 18 дюймовъ; на западномъ склонѣ Гатскихъ горъ 302 дюйма.

Самый характеръ дождей не одинаковъ для разныхъ мѣстностей и временъ года. Въ тропическомъ поясѣ дождевыя капли бываютъ весьма крупныя, дождь идетъ недолго, но выпадаетъ воды въ это время весьма много. Въ странахъ умѣреннаго пояса дождливое время тѣмъ короче и дождевыя капли тѣмъ крупнѣе, чѣмъ температура воздуха выше.

Снѣгъ и дождь имѣютъ одну и ту же причину, и происхожденіе того или другого зависитъ отъ температуры. Если дождевое облако образовалось въ нижнихъ теплыхъ слояхъ атмосферы, то является дождь; въ высшихъ слояхъ всегда почти образуется сначала снѣгъ, который потомъ, входя въ нижніе теплые слои, таетъ и превращается въ дождь. Такимъ образомъ, когда на горахъ въ лѣтнее время падаетъ снѣгъ, то въ долинахъ идетъ дождь.

15. Градъ. — До сихъ поръ неизвѣстна причина *града*—даже нѣтъ сколько-нибудь удовлетворительной гипотезы. Самое же явленіе состоитъ въ томъ, что изъ атмосферы выпадаютъ куски льда или

градины. Градины обыкновенно бываютъ величиною съ небольшой орѣхъ, а иногда въ голубиное и даже въ куриное яйцо; онѣ имѣютъ неправильную форму. Середина градины состоитъ изъ снѣжнаго ядра, покрытаго концентрическими слоями льда. Градъ предшествуется всегда проливнымъ дождемъ и сопровождается сильными грозами; онъ обыкновенно бываетъ среди лѣта и больше днемъ, нежели ночью. Градъ продолжается нѣсколько минутъ, рѣдко 1/4 часа. Этотъ метеоръ производитъ сильныя опустошенія, уничтожаетъ хлѣбные посѣвы и, если крупенъ, то бываетъ гибеленъ даже для людей и животныхъ.

16. Снѣжная линія.—На горахъ, выше нѣкотораго предѣла, атмосферическая вода преимущественно падаетъ въ видѣ снѣга, который потомъ частію или весь истаиваетъ. Чѣмъ мѣсто лежитъ выше, тѣмъ ниже температура, и тѣмъ менѣе истаиваетъ снѣга. Если впродолженіе года падаетъ снѣга болѣе, чѣмъ таетъ, то на поверхности горы, выше извѣстной линіи, снѣгъ никогда не исчезаетъ. Нижняя граница постояннаго снѣга называется *снѣжною линіею*; здѣсь количества падающаго и тающаго снѣга въ теченіе года одинаковы. Выше этой линіи лежатъ страны вѣчнаго снѣга, на которыхъ снѣга выпадаетъ болѣе, нежели истаиваетъ.

Снѣжная линія не есть линія опредѣленная; она подымается и опускается въ зависимости отъ разныхъ условій. Если увеличивается количество падающаго снѣга, или понижается температура, то снѣжная линія спускается и достигаетъ въ умѣренныхъ поясахъ глубокихъ долинъ. Напротивъ, съ наступленіемъ теплаго времени, или при маломъ количествѣ падающаго снѣга, снѣжная линія подымается. Такъ, въ жаркомъ поясѣ, по причинѣ высокой температуры, снѣговая линія вообще имѣетъ самое высокое положеніе — около 15000 футовъ; по мѣрѣ приближенія къ полюсамъ, она понижается и въ полярныхъ странахъ лежитъ на уровнѣ океана. Средняя высота снѣжной линіи на южныхъ склонахъ швейцарскихъ горъ, по причинѣ теплыхъ и сухихъ африканскихъ вѣтровъ, находится выше, чѣмъ на сѣверныхъ. По западнымъ склонамъ Скандинавскихъ горъ выпадаетъ большое количество снѣга, приносимаго влажными западными вѣтрами, и высота снѣжной линіи меньше, чѣмъ на восточныхъ. Въ Гималаѣ, на южномъ склонѣ страна вѣчнаго снѣга спускается ниже, нежели на сѣверномъ. Причины того—влажный югозападный вѣтеръ, осаждающій на южномъ склонѣ большое количество пара, и Тибетская сплошная возвышенность, способствующая таянію снѣга на сѣверномъ склонѣ. Покатость горъ также оказываетъ вліяніе на снѣжную линію: чѣмъ круче гора, тѣмъ легче снѣгъ скатывается въ долины и высота снѣжной линіи болѣе.

Выше снѣжной линіи количество снѣга годъ отъ году должно бы безгранично увеличиваться; *лавины* и *глетчеры* дѣлаютъ это количество почти постояннымъ.

17. Лавины и глетчеры. — Снѣговыя массы скопляются въ горахъ въ весьма разнообразныхъ формахъ, образуя холмы, нависшіе своды, слабо укрѣпленные своими основаніями на голыхъ скалахъ,

и проч. По причинѣ слабой опоры, при вѣтрахъ и даже отъ сильнаго звука, массы снѣга срываются, или скользятъ по склонамъ горъ и низвергаются съ возрастающею скоростію въ долины. увлекая за собою другія массы; падающія съ горъ снѣжныя массы называются *лавинами*. Лавины бываютъ такъ велики, что засыпаютъ цѣлыя деревни, запруживаютъ горныя рѣки и служатъ нерѣдко причиною наводненія. Въ Швейцаріи есть долины, потому только необитаемыя, что часто посѣщаются лавинами.

Извѣстно, что, при увеличеніи давленія, точка плаванія льда понижается. Поэтому, въ нижнихъ слояхъ вѣчнаго снѣга, испытывающихъ громадное давленіе сверху, ледяные кристаллики, изъ которыхъ состоятъ снѣжинки, въ точкахъ соприкосновенія плавятся; освобождающаяся вода наполняетъ промежутки между кристалликами и, не испытывая давленія, или сравнительно слабое, снова замерзаетъ. Такимъ образомъ, нижніе слои вѣчнаго снѣга, покрывающаго высокія горы, переходятъ въ сплошной ледъ, но на поверхности снѣгъ не измѣняетъ своего вида.

Спускаясь съ вершины горы, мы замѣчаемъ, что снѣгъ постепенно принимаетъ крупно-зернистое сложеніе и называется тогда *фирномъ*. Это происходитъ вслѣдствіе попеременнаго таянія и замерзанія, при переходѣ отъ дневнаго жара къ ночной стужѣ; совершенно то же самое мы видимъ весною на нашихъ поляхъ, когда снѣгъ, отъ дѣйствія солнечныхъ лучей, постепенно принимаетъ видъ крупныхъ ледяныхъ зеренъ. Ниже странъ фирна, освобождающаяся днемъ вода наполняетъ промежутки между зернами, а къ ночи замерзаетъ, и, наконецъ, весь снѣгъ превращается въ ледъ. Вся эта масса льда и снѣга медленно сползаетъ съ горъ въ долины и ущелія, гдѣ также не перестаетъ двигаться и спускается нерѣдко ниже линіи вѣчнаго снѣга.

Эти медленно движущіяся ледяныя массы называются *ледниками* или *глетчерами*. Встрѣчая при своемъ движеніи въ руслѣ долины неровности, изгибы, измѣняющееся паденіе, ледъ растрескивается, но, отъ продолжающагося давленія, льдины въ точкахъ соприкосновенія снова спаиваются, такъ что глетчеръ всегда сохраняетъ форму долины.

Попеременныя растрескиванія и спаиванія даютъ леднику весьма неправильный видъ, напоминающій море во время сильнаго волненія; Mer des Glaces—одинъ изъ ледниковъ, спускающихся съ Монблана, имѣетъ именно такой видъ.

Скорость движенія глетчеровъ весьма различна и измѣняется отъ 200 до 800 фут. въ годъ. Подобно рѣкамъ, въ верхнихъ частяхъ своихъ онъ движется скорѣе, чѣмъ въ нижнихъ, въ серединѣ быстрѣе, чѣмъ по берегамъ; точно такъ же на поверхности скорость болѣе, чѣмъ у русла, въ узкихъ мѣстахъ болѣе, чѣмъ въ широкихъ.

Ледники достигаютъ огромныхъ размѣровъ; Алетчъ глетчеръ, въ Швейцаріи, имѣетъ 80 верстъ въ длину, при средней ширинѣ въ $^2/_5$ версты и глубинѣ до 600 футовъ. Ледники околополярныхъ странъ обладаютъ еще бо́льшими размѣрами.

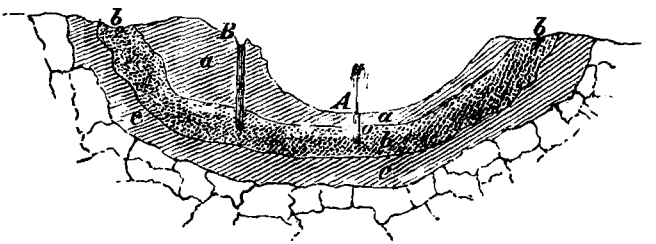
Съ окружающихъ горъ, на ледникъ скатываются лавины и камни; участвуя въ общемъ движеніи, камни достигаютъ подножія глетчера, гдѣ такимъ образомъ накопляются высокія гряды, называемыя *морсенами*.

Вода, образующаяся отъ таянія льда, течетъ ручьями по поверхности ледника, пока не найдетъ исходъ къ руслу его, низвергаясь каскадами въ трещины, или бездонные колодцы. Отъ этого, изъ подножія ледника всегда вытекаетъ болѣе или менѣе обильный потокъ.

18. Источники. — Водяные пары, сгущаясь въ жидкое или твердое состояніе, падаютъ изъ атмосферы на землю. Самое большое количество ихъ осаждается на возвышенностяхъ. Здѣсь вода стекаетъ или непосредственно по поверхности горъ, или проникаетъ во внутренность ихъ, и, достигнувъ непроницаемаго слоя, скопляется въ болѣе или менѣе значительныхъ подземныхъ водоемахъ. Найдя гдѣ нибудь исходъ, вода вытекаетъ въ видѣ *источниковъ* или *ключей*; отъ сліянія источниковъ образуются *ручьи* и *рѣки*.

Къ ключамъ принадлежатъ *артезіанскіе колодцы*, названные такъ по французской провинціи Артуа, гдѣ ихъ весьма много.

Пусть нѣкоторая страна находится въ котловинной впадинѣ *A* (фиг. 3) и лежитъ на нѣсколькихъ слояхъ *a*, *b*, *c*; *a* и *c* состоятъ изъ глины, не пропускающей чрезъ себя воду, а *b*—изъ песку, или другой горной породы, которая напротивъ проникается водою и выдается гдѣ нибудь на поверхности земли въ точкахъ b_1 и b_2. Атмосферная вода, падающая на эти выдающіяся части, стекаетъ въ *b*—самый низъ слоя b_1bb_2; здѣсь она находится подъ давленіемъ выше ея лежащихъ водяныхъ слоевъ, но выйти никуда не можетъ, по



Фиг. 3.

причинѣ непроницаемости горныхъ породъ *a* и *c*. Если на мѣстности *A* прорыть отверстіе *o*, то вода будетъ выходить въ видѣ фонтана, высота котораго, впрочемъ, не превзойдетъ болѣе низкій уровень b_1 или b_2. Въ мѣстности *B* не получится даже вовсе фонтана, и вода въ отверстіи остановится, не дойдя до поверхности земли. Такіе колодцы имѣютъ различную глубину: Гренельскій въ Парижѣ идетъ съ 1845 футовъ глубины и подымается на 50 фут. выше уровня Парижа. Артезіанскій колодецъ въ Петербургѣ имѣетъ 658 футовъ глубины. Способъ просверливанія отверстій для полученія артезіанскихъ ко-

лодцевъ, называется *буреніемъ*, а инструментъ, для этого употребляемый,—*буромъ*.

Рѣки.—Рѣки въ равнинахъ имѣютъ свое начало на возвышеніяхъ, хотя бы даже незначительныхъ, на которыхъ вообще выпадаетъ воды больше, нежели на низменностяхъ. Иногда рѣка начинается малымъ ручьемъ и увеличивается впадающими въ него другими ручьями. Иногда вытекаетъ изъ болотъ, или озеръ, въ свою очередь питаемыхъ ключами. Но самыя большія рѣки текутъ изъ горъ, вершины которыхъ увѣнчаны снѣгомъ. Горныя рѣки отличаются своей быстротой, но по мѣрѣ того, какъ сходятъ въ низменности, скорость ихъ уменьшается, и онѣ становятся судоходными. Вообще при одномъ футѣ, или болѣе, паденія рѣки на 200 фут. судоходство невозможно. Еще большее паденіе образуетъ *быстрины* и *пороги*. Если русло представляетъ уступъ въ каменистомъ грунтѣ, то получаются водопады. Самые знаменитые водопады: Ніагарскій, Рейнскій, водопадъ на рѣкѣ Замбезе, Иматра и другіе.

Рѣки, имѣющія начало въ равнинахъ, подвержены разливамъ отъ осеннихъ дождей и въ особенности отъ таянія снѣга весною; таковы рѣки Европейской Россіи. Высота воды въ рѣкахъ, вытекающихъ изъ снѣговыхъ горъ, зависитъ отъ таянія снѣговъ и ледниковъ въ горахъ, и бываетъ поэтому наибольшею въ самое жаркое время года. Когда въ Швейцаріи дуетъ южный теплый вѣтеръ, то всѣ рѣки вздуваются. Во время разливовъ быстрота рѣкъ увеличивается, и вода уноситъ много минеральныхъ и органическихъ нерастворимыхъ веществъ въ видѣ грязи или ила. По приближеніи къ устью, скорость уменьшается, и илъ осаждается; образуется наносная почва, составляющая такъ называемую *дельту*. При впаденіи своемъ рѣка имѣетъ наклонность дѣлиться на рукава; поэтому, дельта перерѣзывается иногда весьма большимъ числомъ рукавовъ. Самыя большія дельты лежатъ при устьѣ Нила, Ганга, Инда, Миссисипи, и обыкновенно отличаются плодородною почвою и нездоровымъ климатомъ.

Пространство земли, орошаемое рѣкою и ея притоками, называется *бассейномъ* этой рѣки; а граница, раздѣляющая два смежные рѣчные бассейна,—*водораздѣльною линіею* или *водораздѣломъ*. Иногда главныя рѣки между собою соединяются посредствомъ своихъ притоковъ. Такъ изъ Ориноко выходитъ рукавъ Кассикіаре, впадающій въ Ріо-Негро, притокъ Амазонки.

Уровень океана не повышается отъ впадающихъ въ него рѣкъ, потому что вода, приносимая ими, возмѣщаетъ воду, поднявшуюся въ видѣ пара съ поверхности океана.

Озера.—Котловины или впадины на земной поверхности обыкновенно наполнены водою, образуя такимъ образомъ *озера*; одни изъ нихъ прѣсноводныя, другія соленыя. Нѣкоторыя не имѣютъ ни притоковъ, ни истоковъ и питаются ключами; другія имѣютъ или истоки, или притоки, или тѣ и другіе. Высота ихъ уровня различна. Одни лежатъ ниже уровня океана; наприм. Каспійское море (ниже уровня океана на 83 фута), Мертвое море (ниже на 1312 фут.). Другія озера находятся выше океана; это преимущественно горныя озера. Вода

ихъ красиваго зеленаго или синяго цвѣта; таковы: Женевское озеро (1230 фут.), Люцернское (1407 фут.), Комо (702 фут.), Лаго-Маджоре (678 фут.), Байкалъ (1793 фут.). Самое высокое озеро по своему положенію Титикака (12846 фут.), лежащее въ Боливскихъ Андахъ. Нѣкоторыя озера суть ничто иное, какъ расширеніе русла рѣкъ; такъ, Женевское озеро есть расширеніе Роны, Констанское—Рейна.

Озера, принимающія притоки и не выпускающія рѣкъ,—солены. Это объясняется тѣмъ, что притоки постоянно приносятъ растворимыя минеральныя частицы, преимущественно хлоронатріеву соль и отчасти магнезіальныя соли. Прибывающая вода испаряется, а разсолъ увеличивается до насыщенія; въ такомъ состояніи находится Элтонское озеро, въ которомъ содержится до 29% слишкомъ солей. Воды Мертваго моря, имѣющія въ растворѣ $26^1/_2$% солей, также, вѣроятно, достигли состоянія насыщенія. Въ томъ и другомъ озерѣ нѣтъ животныхъ. Разсолъ Каспійскаго моря меньше, чѣмъ въ океанѣ, и вѣроятно болѣе уже не увеличивается, потому что рыбы и другія морскія животныя поглощаютъ столько солей, сколько вносится рѣками.—Если бы въ озерахъ безъ истоковъ вода не испарялась, то уровень ихъ становился бы выше, но какъ онъ всегда одинъ и тотъ же, то надо заключить, что количество воды, приносимой притоками и падающей изъ атмосферы, равно количеству испаряющейся воды.

О вѣтрахъ.

19. Причина вѣтра.—Вѣтеръ есть движущійся воздухъ; это движеніе можетъ имѣть разныя направленія и скорости. Вѣтеръ получаетъ названіе отъ страны горизонта, изъ которой дуетъ; такимъ образомъ, бываютъ вѣтры: сѣверный, южный, сѣверо-восточный и т. д., обозначаемые соотвѣтственно: С, Ю, СВ, и т. д. Скоростью движенія воздуха опредѣляется сила вѣтра; скорость доходитъ до 200 слишкомъ футовъ въ секунду.

Вѣтры происходятъ отъ неравномѣрнаго распредѣленія атмосфернаго давленія на земную поверхность.

Частица воздуха тогда только можетъ остаться въ покоѣ, если она испытываетъ со всѣхъ сторонъ одинаковыя давленія. Если давленія не равны, то воздухъ приходитъ въ движеніе и течетъ по земной поверхности изъ той страны, надъ которой стоитъ большое атмосферное давленіе, въ мѣстность, гдѣ это давленіе почему либо уменьшилось. Такимъ образомъ возникаетъ вѣтеръ.

Одна изъ причинъ уменьшенія барометрическаго давленія—возвышеніе температуры воздуха.

Пусть наприм. въ A (фиг. 4) температура болѣе, нежели въ B; тогда въ A воздухъ расширится, атмосфера удлинится въ высоту и станетъ стекать на атмосферу, лежащую надъ B. Поэтому, въ B атмосферное давленіе увеличится, а въ A уменьшится, и воздухъ, потерявъ равновѣсіе, потечетъ у поверхности земли отъ B къ A, а вверху —отъ A къ B. Въ мѣстѣ C, лежащемъ между A и B, будетъ дуть вѣтеръ по направленію отъ B къ A.—Въ маломъ видѣ можно произ-

вести вѣтеръ, если растворить дверь изъ теплой комнаты въ холодную; тотчасъ обнаружатся два теченія воздуха: одно внизу двери—изъ холодной комнаты въ теплую, другое вверху—въ обратную сторону.

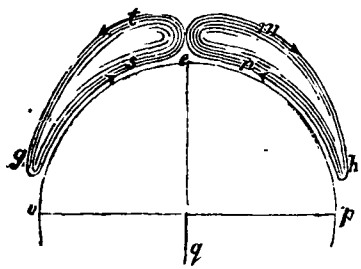
Другая причина вѣтра—большая или меньшая примѣсь къ воздуху водяного пара. Извѣстно, что плотность водяного пара менѣе плотности воздуха; поэтому, при одинаковыхъ температурѣ и упругости, сухой воздухъ плотнѣе влажнаго.

Осажденіе водяного пара также можетъ повести къ уменьшенію плотности воздуха, потому что, переходя въ капельное состояніе, паръ сокращается въ объемѣ. Кромѣ того, при переходѣ пара въ капельное состояніе, освобождается скрытая теплота, которая возвышаетъ температура воздуха и еще болѣе уменьшаетъ его плотность и давленіе.

Упомянутыя выше причины въ свою очередь зависятъ отъ другихъ причинъ, которыя, вслѣдствіе ихъ измѣнчивости и многочисленности, дѣлаютъ вѣтеръ явленіемъ чрезвычайно сложнымъ и непостояннымъ.

Можно принять однакоже за несомнѣнное, что большая разность между температурами экваторіальныхъ и полярныхъ странъ есть главная причина атмосферныхъ движеній. Для простоты предположимъ, что земля имѣетъ совершенно однообразную твердую поверхность; допустимъ еще, что температура въ неизмѣняемой, для всѣхъ меридіановъ, постепенности понижается отъ экватора къ полюсамъ, и что земной шаръ пребываетъ въ покоѣ. Тогда образовались бы въ каждомъ географическомъ полушаріи по два атмосферныхъ теченія: нижнія холодныя—отъ полюсовъ къ экватору по земной поверхности, и верхнія теплыя—отъ экватора къ полюсамъ.

Пусть *peo* (фиг. 5) изображаетъ какой нибудь земной меридіанъ, *eq*—экваторъ, *p*—сѣверный полюсъ, *o*—южный; *n* представлялъ бы тогда холодный поверхностный потокъ воздуха сѣвернаго полушарія или сѣверный вѣтеръ, *m*—верхнее теченіе къ сѣверному полюсу или южный вѣтеръ. Точно такъ же и въ южномъ полушаріи получились бы два вѣтра: *s*—южный поверхностный, отъ южнаго полюса къ экватору, и *t*—сѣверный вверху, въ обратную сторону. Такимъ образомъ, по всему экватору существовало бы восходящее теченіе воздуха, которое потомъ спускалось бы на поверхность земли въ полярныхъ странахъ.



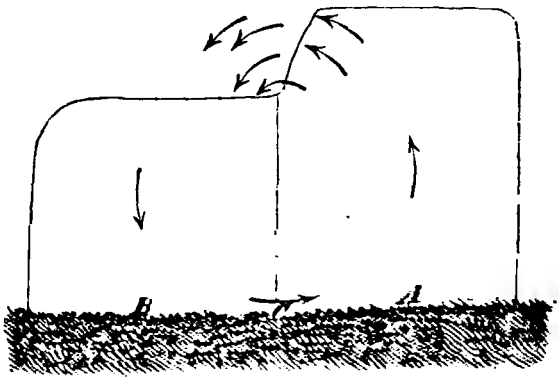
Фиг. 5.

20. Вращеніе земли на оси оказываетъ сильное вліяніе на направленіе экваторіальныхъ и полярныхъ воздушныхъ теченій.

Пассатные вѣтры. — Земной шаръ, вмѣстѣ съ атмосферою и всѣми земными предметами, вращается въ противную сторону видимаго суточнаго движенія солнца, т. е. отъ запада къ востоку; при

этомъ разныя точки поверхности земли описываютъ разной величины круги, которые тѣмъ болѣе, чѣмъ мѣсто лежитъ ближе къ экватору. Пусть частица воздуха въ сѣверномъ полушаріи движется съ сѣвера на югъ; она идетъ изъ странъ, гдѣ скорость точекъ земной поверхности относительно не велика, въ страны, гдѣ эта скорость болѣе, а потому отстаетъ отъ общаго движенія; намъ, не замѣчающимъ движенія земли, должно казаться, что частица перемѣстилась къ западу. Такимъ образомъ, воздухъ, повидимому, имѣетъ два движенія: одно—дѣйствительное—на югъ, а другое—кажущееся—на западъ; отъ совокупности ихъ происходитъ одно направленіе къ юго-западу, иначе сказать сѣверо-восточный вѣтеръ. По мѣрѣ приближенія къ экватору, воздухъ нагрѣвается, скорость отъ сѣвера къ югу уменьшается, и сѣверовосточный вѣтеръ между тропиками переходитъ въ ВСВ и даже иногда въ В.

Въ верхнихъ частяхъ атмосферы происходитъ явленіе обратное. Масса воздуха, движущаяся съ юга на сѣверъ, течетъ въ страны, гдѣ скорость вращенія около оси меньше, и потому уходитъ впередъ, т. е. на востокъ, а, слѣдовательно, вообще движеніе будетъ на сѣверо-востокъ; намъ, не замѣчающимъ вращательнаго движенія земли, покажется, что дуетъ юго-западный вѣтеръ.



Фиг. 4.

Подобнымъ образомъ въ южномъ полушаріи существуютъ вѣтры: юго-восточный и сѣверо-западный; первый дуетъ внизу, второй — вверху.

Эти четыре вѣтра называются *пассатами*.

Нижніе пассаты — СВ сѣвернаго полушарія и ЮВ южнаго полушарія — дѣйствительно наблюдаются; они дуютъ въ Атлантическомъ и Великомъ океанахъ между 30° сѣверной и 30° южной широты съ удивительною правильностію. Непосредственное наблюденіе надъ пассатами ЮЗ и СЗ, по причинѣ ихъ большой высоты, врядъ ли возможно; ихъ нѣтъ даже на высочайшихъ точкахъ Кордильеровъ, но существованіе ихъ не подлежитъ сомнѣнію. Они необходимы уже потому, что воздухъ, приносимый нижними пассатами къ экватору, долженъ стекать въ обратную сторону; иначе, внѣтропическія страны лишились бы своей атмосферы. Нерѣдко видятъ облака, движущіяся въ противоположную сторону съ нижнимъ пассатомъ. При изверженіи вулкана Козигвія, въ Гватемалѣ, вулканическій пепелъ попалъ въ ЮЗ пассатъ и отнесенъ былъ на островъ

Ямайку. Приближаясь къ тропикамъ, верхніе пассаты спускаются, и потому доступны наблюденіямъ. Такъ, на вершинѣ Тенерифскаго пика постоянно дуетъ ЮЗ вѣтеръ, между тѣмъ какъ у подошвы—СВ.—Въ странахъ умѣреннаго и холоднаго поясовъ дуютъ вѣтры перемѣнные; законы ихъ мало извѣстны *).

Поясъ тишины.—Тамъ, гдѣ встрѣчаются СВ и ЮВ пассаты, надлежало бы получиться, отъ сложенія скоростей, воздушному теченію съ В на З; но, по причинѣ высокой температуры, происходитъ быстрое теченіе кверху. Отъ сочетанія обоихъ движеній, т. е. вверхъ и на западъ, восходящій воздушный потокъ уклоняется отъ вертикальнаго направленія. Такимъ образомъ, земля окаймляется полосою, шириною отъ 4° до 5° по широтѣ, гдѣ нѣтъ никакихъ правильныхъ вѣтровъ; эта полоса земной поверхности называется *экваторіальнымъ поясомъ тишины* или *экваторіальнымъ затишьемъ*. Тишина прерывается только проливными дождями, сильными грозами и ураганами.

Въ Великомъ океанѣ середина пояса тишины лежитъ не далеко отъ земного экватора, уклоняясь нѣсколько къ сѣверу; въ Атлантическомъ океанѣ весь поясъ лежитъ въ сѣверномъ полушаріи. Экваторіальное затишье перемѣщается вслѣдъ за солнцемъ, потому что середина его соотвѣтствуетъ наибольшей температурѣ земной поверхности. Такимъ образомъ, во время нашего лѣта онъ отодвигается къ сѣверу, а зимою къ югу. Вмѣстѣ съ поясомъ тишины, перемѣщаются и системы пассатныхъ вѣтровъ.

Изъ того, что поясъ экваторіальнаго затишья лежитъ большею частію въ сѣверномъ полушаріи, очевидно надо заключить, что сѣверное полушаріе теплѣе южнаго.

Вслѣдствіе восходящаго теченія воздуха на экваторѣ, происходятъ слѣдующія явленія. Средняя высота барометра въ экваторіальномъ затишьѣ ниже, нежели въ странѣ пассатовъ.—Восходящій съ поверхности океана нагрѣтый воздухъ содержитъ большое количество паровъ. Подымаясь въ верхніе слои атмосферы, онъ охлаждается и осаждаетъ свой паръ; отъ этого, въ экваторіальномъ затишьѣ проливается огромное количество дождя, сопровождаемаго сильною грозою, и небо почти постоянно, впродолженіе дня, надъ всѣмъ поясомъ тишины, покрыто облаками; отсюда названіе *экваторіальное облачное кольцо*. Но, вслѣдствіе освобожденія скрытой теплоты, воздухъ такъ нагрѣвается, что паръ перестаетъ осаждаться. Между тѣмъ, находясь сверху подъ непрестаннымъ дѣйствіемъ солнечныхъ лучей, облака разрѣшаются снова въ пары и уносятся ЮЗ и СЗ пассатами.—Въ поясѣ экваторіальнаго затишья, при восходѣ солнца небо чисто, потомъ постепенно покрывается облаками; около четырехъ часовъ по полудни начинается проливной дождь, продолжающійся нерѣдко, хотя съ меньшимъ обиліемъ, всю ночь; къ четыремъ часамъ утра онъ опять усиливается. Въ такомъ видѣ совершается явленіе круглый годъ (за небольшими исключеніями) надъ поверхностію оке-

*) См. ниже, въ метеорологіи.

ана, во всѣхъ мѣстностяхъ, которыя не выходятъ изъ пояса тишины. Если же мѣсто иногда лежитъ въ поясѣ затишья, иногда въ странѣ пассатовъ, то въ первомъ случаѣ стоитъ время дождливое, во второмъ сухое. Внутри материковъ, вслѣдствіе мѣстныхъ причинъ, явленіе измѣняется. Дождь бываетъ въ иные часы дня, измѣняющіеся въ зависимости отъ годового движенія солнца.

21. Монсуны.—Пассаты наблюдаются только вдали отъ материковъ и преимущественно въ Великомъ океанѣ. Материки сильно дѣйствуютъ на пассаты; примѣромъ можетъ служить Восточная Индія. Эта страна лежитъ въ тѣхъ широтахъ, гдѣ долженъ дуть сѣверо-восточный пассатъ. Зимою, съ октября до апрѣля, здѣсь дѣйствительно дуетъ сѣверо-восточный вѣтеръ, но лѣтомъ огромный материкъ Азіи нагрѣвается сильнѣе Индѣйскаго океана; отъ этого происходитъ юго-западный вѣтеръ, дующій безпрерывно отъ апрѣля до октября. Эти вѣтры называются *муссонами* или *монсунами*. При смѣнѣ монсуновъ, продолжающейся недѣли двѣ, дуютъ перемѣнные вѣтры. Подобное явленіе видимъ въ Гвинеѣ, гдѣ, дѣйствіемъ степи Сахары, юго-восточный пассатъ превращается въ южный и даже юго-западный,—и въ другихъ странахъ.

Бризы.—Нѣкоторое сходство съ монсунами представляютъ *бризы* или береговые вѣтры; они дуютъ по берегамъ материковъ, или большихъ острововъ: ночью—съ берега въ море, днемъ — съ моря на берегъ, и съ особенною правильностію наблюдаются въ жаркомъ поясѣ. Днемъ суша нагрѣвается сильнѣе воды, и потому надъ материкомъ получается восходящій потокъ воздуха, для замѣщенія котораго является морской вѣтеръ. Ночью материкъ охлаждается быстрѣе океана, происходитъ восходящій воздушный потокъ съ водной поверхности. Въ обоихъ случаяхъ должны существовать два теченія, другъ другу противоположныя: когда внизу дуетъ вѣтеръ съ моря, вверху—съ берега и обратно.

22. Мѣстные вѣтры.—Въ нѣкоторыхъ странахъ дуютъ вѣтры, называемые *мѣстными*; происхожденіе ихъ не объяснено. Сюда въ особенности принадлежатъ горячіе вѣтры пустынь; они обладаютъ необыкновенною сухостью, несутъ съ собою тонкую песчаную пыль и, по причинѣ этихъ свойствъ, весьма вредны для людей и животныхъ. Изъ такихъ вѣтровъ упомянемъ: Самумъ—въ Аравіи, Шамсинъ—въ Египтѣ, Гарматтанъ—въ Сенегамбіи, Сирокко—проникающій изъ Сахары, чрезъ Средиземное море, въ Италію и даже въ Швейцарію, гдѣ онъ называется Фёнъ.

23. Ураганъ. — *Ураганъ* или *торнадосъ* есть вертикальный столбъ воздуха, въ которомъ воздушныя частицы стремятся съ огромной скоростью къ оси столба, описывая спиральныя линіи. Вся эта вращающаяся масса имѣетъ въ то же время поступательное движеніе. Вихри или крутящіеся столбы пыли, замѣчаемые въ жаркое время года, даютъ слабое подобіе этого явленія. Вначалѣ діаметръ урагана бываетъ отъ 200 до 450 верстъ, но потомъ увеличивается и доходитъ до 2000. Скорость вращенія въ разныхъ точкахъ урагана различна; на самой оси воздухъ имѣетъ только восходящее движе-

ніе; по мѣрѣ удаленія отъ оси, скорость вращенія увеличивается, быстро достигаетъ наибольшей величины и потомъ мало по малу уменьшается къ окружности. Въ ураганахъ сѣвернаго полушарія вращательное движеніе совершается въ сторону, противоположную направленію стрѣлки часовъ; въ южномъ полушаріи—по направленію стрѣлки. Въ каждой точкѣ земной поверхности, чрезъ которую идетъ ураганъ, вѣтеръ постепенно усиливается, потомъ ослабѣваетъ и, въ моментъ прохожденія оси, совершенно затихаетъ, а затѣмъ начинаетъ дуть по противоположному направленію. Въ мѣстностяхъ, лежащихъ на пути урагана, но внѣ его оси, вѣтеръ постепенно измѣняетъ свое направленіе. Опытные моряки, по состоянію неба и виду моря, узнаютъ приближеніе урагана, а по измѣненію направленія вѣтра опредѣляютъ, въ какой части урагана они находятся, и стараются удалиться отъ оси его.—Поступательное движеніе урагана имѣетъ скорость отъ 15 до 85 верстъ въ часъ.

Наиболѣе извѣстны ураганы Антильскихъ островов, Индѣйскаго океана и Китайскаго моря. Начало ихъ въ странѣ пассатовъ. Ураганы Антильскаго архипелага удаляются отъ экватора на СЗ. На широтѣ 30°, сѣверной границы СВ пассата, они поворачиваютъ на СВ и достигаютъ иногда Европы. Ураганы Индѣйскаго океана также удаляются отъ экватора къ полюсу, сначала уклоняясь на ЮЗ и потомъ на ЮВ. Ураганы обыкновенно сопровождаются страшной грозой и проливными дождями. Дѣйствія ихъ ужасны. Большія деревья вырываются съ корнями, цѣлые лѣса уничтожаются; люди и животныя подымаются на воздухъ; корабли выбрасываются на берегъ, строенія разрушаются и жители погибаютъ подъ развалинами; на оси урагана, по причинѣ уменьшеннаго атмосфернаго давленія, море высоко подымается и производитъ наводненіе.

Причина урагановъ до сихъ поръ съ достовѣрностью неизвѣстна *).—*Циклоны*—тѣ же ураганы, и отличаются отъ нихъ только тѣмъ, что имѣютъ меньшіе размѣры.

24. Смерчъ.—*Смерчъ* есть явленіе, подобное урагану и также необъясненное удовлетворительно. Онъ состоитъ въ слѣдующемъ. Надъ поверхностью моря, съ нѣкотораго мѣста небеснаго свода, спускается облако въ видѣ воронки; вода начинаетъ волноваться и потомъ подымается въ видѣ обратной воронки, пока обѣ воронки не соединятся, и затѣмъ принимаютъ поступательное движеніе. Въ поднятой водѣ замѣчается спиральное движеніе, столь быстрое, что даже рыба имъ увлекается. Подобное явленіе надъ сушей подымаетъ столбъ пыли и другіе легкіе предметы, и тогда называется *тромбой*. Смерчъ и тромба имѣютъ одно и то же начало, потому что смерчъ, вступая съ моря на берегъ, превращается въ тромбу, а тромба, переходя съ суши на воду, даетъ смерчъ.

Движеніе воды въ смерчѣ и воздуха въ тромбѣ весьма сильно. Тромба срываетъ крыши и относитъ ихъ на большое разстояніе, подымаетъ довольно тяжелые предметы, ломаетъ большія деревья:

*) Весьма правдоподобное объясненіе изложено ниже, въ темпестологіи.

смерчъ затопляетъ небольшія суда и даже можетъ сдѣлать важныя повреждения большимъ кораблямъ.

25. Вліяніе вѣтровъ на выпаденіе метеорической воды. — Количество выпадающей метеорической воды зависитъ отъ направленія вѣтра и рельефа страны. Если на пути влажныхъ вѣтровъ находятся болѣе или менѣе возвышенные горные кряжи, то, подымаясь по наклону горъ, воздухъ охлаждается и выдѣляетъ свои пары. Такія страны обильно орошаются метеорическою водою. По другую сторону возвышенностей лежатъ обыкновенно бездождныя страны. Такъ, часть Южной Америки, лежащая въ южномъ полушаріи, находится въ странѣ ЮВ пассата, который запасается парами въ южной части Атлантическаго океана и, двигаясь по материку Америки, изливаетъ огромное количество воды, дающее начало великимъ рѣкамъ Ориноко и Амазонкѣ. Когда эти вѣтры перейдутъ чрезъ Кордильеры, то въ Перу оказываются сухими; отъ этого, въ Перу никогда не бываетъ дождя, и растительность поддерживается только обильными росами. Патагонія лежитъ внѣ юго-восточнаго пассата, и потому не имѣетъ постоянныхъ вѣтровъ. Когда здѣсь дуютъ вѣтры съ Атлантическаго океана, то въ восточной Патагоніи бываетъ худая погода, но въ западной, защищенной горами,—въ то же время хорошая. При СЗ вѣтрѣ, на берега западной Патагоніи притекаетъ весьма влажный воздухъ; онъ спускается изъ верхнихъ слоевъ атмосферы, куда былъ поднятъ въ экваторіальномъ затишьѣ, и здѣсь проливается огромное количество воды, такъ что море, на нѣкоторомъ разстояніи отъ береговъ, дѣлается прѣснымъ. Мексика находится въ странѣ СВ пассата, вѣтра весьма сухого, и здѣсь рѣдко падаютъ дожди; часто на большомъ пространствѣ почва безплодна и солонцевата. Сѣвернѣе ея, за Скалистыми горами, спускается ЮЗ пассатъ и проливаетъ обильное количество воды, дающее начало огромнымъ рѣкамъ Миссисипи, Миссури и великимъ прѣснымъ озерамъ, изливающимъ избытокъ своей воды чрезъ величайшую рѣку Св. Лаврентія. Сѣверо-восточный пассатъ въ Индостанѣ сухъ; когда онъ дуетъ, то здѣсь вообще сухая погода; только по восточному берегу, вслѣдствіе окаймляющихъ его возвышеній, осаждается нѣкоторое количество воды. Но когда дуетъ ЮЗ муссонъ, то въ Индіи вообще бываетъ дождливое время года, и особенно много воды выдѣляется на западномъ берегу, вдоль котораго идутъ Гатскія горы. Остатки пара осаждаются на Гималайскомъ хребтѣ и даютъ начало большимъ рѣкамъ Индіи. Въ Гвинеѣ южный муссонъ снабжаетъ водою Нигеръ и другія рѣки.

Югозападный пассатъ достигаетъ Европы. Отсюда понятно, почему всѣ страны этой части свѣта, находящіяся подъ непосредственнымъ дѣйствіемъ ЮЗ экваторіальнаго потока, какъ напр. Великобританія, западная Норвегія, обильно орошаются метеорическою водою. Въ мѣстностяхъ, закрытыхъ горными кряжами съ запада, дождей падаетъ мало. Южная Россія, защищенная возвышенностями центральной Европы, страдаетъ засухами. Астраханскія

степи и азіятскія пустыни, лежащія на сѣверо-востокѣ отъ Каспійскаго моря, почти не получаютъ воды изъ атмосферы, потому что Кавказскія горы и возвышенія Малой Азіи задерживаютъ всю влагу.

Безплодность Сахары объясняется тѣмъ, что она лежитъ въ поясѣ экваторіальнаго затишья; съ раскаленной песчаной поверхности подымается восходящее теченіе воздуха; оно замѣщается воздухомъ, который притекаетъ съ сѣвера и юга, оставивъ всю свою влагу на Атласѣ и на возвышенностяхъ Гвинеи и центральной Африки. Этотъ сухой воздухъ хотя и охлаждается, подымаясь въ верхніе слои атмосферы, но не даетъ водяныхъ метеоровъ, и неувлажаемая почва Сахары остается безплодною.

Бездождье Тибета и Гоби также происходитъ отъ окружающихъ ихъ возвышеній.

Атмосферное электричество.

26. Электричество воздуха и облаковъ. — Въ воздухѣ почти всегда есть свободное электричество; оно обнаруживается помощію электроскоповъ, которые отличаются отъ обыкновенныхъ тѣмъ, что имѣютъ высокій и заостренный вертикальный шпиль, соединенный съ золотыми или соломенными листками. Воздухъ чрезъ вліяніе возбуждаетъ въ шпилѣ оба электричества: разноименное заставляетъ выходить изъ острія, а одноименное отталкиваетъ въ электроскопъ. Помощію такихъ приборовъ было доказано, что въ атмосферѣ всегда есть свободное электричество, то положительное, то отрицательное, но обыкновенно въ незначительномъ количествѣ. Самое большое напряженіе электричества бываетъ во время грозы. Дождевое облако, изъ котораго выходитъ молнія, всегда содержитъ электричество. Въ первый разъ это было доказано сѣвероамериканскимъ ученымъ Франклиномъ. Онъ пустилъ во время грозы на ниткѣ змѣя, какими обыкновенно забавляются дѣти, и снабдилъ его наверху остріемъ; нитка была прикрѣплена къ стеклянной подставкѣ, чтобы электричество не могло уйти въ землю. Когда мелкій дождь смочилъ нитку, сдѣлавъ ее такимъ образомъ полупроводникомъ, то Франклинъ замѣтилъ движеніе волоконъ нитки и, приближая къ ней руку, получилъ искру. Этотъ опытъ повторяли многіе ученые и еще съ бо̀льшимъ успѣхомъ; змѣй замѣняли высокимъ уединеннымъ металлическимъ стержнемъ съ остріемъ на концѣ, или ввивали въ нитку тонкую металлическую проволоку. При такихъ условіяхъ можно получить искры длиною въ 9 футовъ. — Иногда облака наэлектризованы положительно, иногда отрицательно; нерѣдко бываетъ два слоя облаковъ, одинъ надъ другимъ, наэлектризованныхъ разноименно.

Причина образованія электричества въ воздухѣ неизвѣстна; всего вѣроятнѣе предположеніе, что оно освобождается при испареніи морской воды, потому что водные растворы солей, при отдѣленіи изъ нихъ пара, электризуются отрицательно, а паръ —

положительно. Въ поясѣ тишины, подымающійся воздухъ уноситъ, вмѣстѣ съ парами, съ поверхности моря электричество; часть его возвращается морю сильными грозами, часть съ пассатами переносится въ отдаленныя страны земли.

Воздухъ, какъ худой проводникъ, электризуется равномѣрно по всей своей массѣ, но когда, вслѣдствіе осажденія пара, образуется облако, то электричество собирается только на поверхности облака и пріобрѣтаетъ большое напряженіе, потому что облака состоятъ изъ водяныхъ капель, а вода есть посредственный проводникъ электричества.

27. Молнія и громъ.—Молнія есть ни что иное, какъ электрическая искра весьма большого напряженія, перескакивающая изъ одного облака въ другое, или въ какой нибудь земной предметъ.

Когда облако, заряженное положительнымъ электричествомъ. проходитъ надъ земнымъ предметомъ, то возбуждаетъ въ немъ чрезъ вліяніе оба электричества: положительное отталкиваетъ въ землю, а отрицательное притягиваетъ на верхъ предмета. Разнородныя электричества облака и земного предмета притягиваются, и если они въ большомъ количествѣ, то воздухъ не въ состояніи препятствовать ихъ взаимному соединенію, и электричество облака переходитъ на предметъ. Если бы на послѣднемъ было столько отрицательнаго электричества, что оно, соединясь съ положительнымъ электричествомъ облака, могло привести предметъ къ естественному состоянію, то тѣмъ бы и окончилось все явленіе. Но наэлектризованный предметъ, по причинѣ весьма большого разстоянія отъ облака, содержитъ электричества гораздо менѣе, а потому электричество облака только частію уничтожится; другая же часть его устремится чрезъ предметъ въ землю. Если тѣло хорошій проводникъ, и потому не представляетъ сопротивленія теченію электричества, то электричество уйдетъ въ землю, не произведя никакого замѣтнаго дѣйствія; въ противномъ случаѣ, то есть если предметъ худой проводникъ, электричество облака сдѣлаетъ то же самое. что электричество лейденской банки, только съ большею силою.

Молнія убиваетъ человѣка и животныхъ, зажигаетъ горючія вещества, плавитъ металлы; если входитъ въ землю, то расплавляетъ кремнистыя вещества, которыя потомъ опять затвердѣваютъ: отъ этого, получаются длинныя трубки, длиною въ нѣсколько футовъ и называемыя *фульгуритами*. Проходя черезъ деревья, молнія обращаетъ въ паръ соки въ сосудахъ, отъ чего дерево разщепляется.

Молнія обыкновенно падаетъ на высокіе предметы и притомъ хорошіе проводники электричества. Этимъ объясняется, почему бо́льшая часть несчастныхъ случаевъ бываетъ подъ деревьями. Равнымъ образомъ, опасно во время грозы находиться среди совершенно открытой мѣстности. Въ домахъ несчастія рѣдки, потому что электричество по большей части находитъ себѣ путь въ землю черезъ стѣны.

Молнія является чаще всего въ видѣ ломаной линіи, нерѣдко

развѣтвляющейся, которой длина доходитъ до 15-ти верстъ. Трудно объяснить, почему молнія имѣетъ видъ зигзага, а не прямой линіи; вѣроятно, это происходитъ отъ того, что электричество выбираетъ такой путь, гдѣ оно можетъ встрѣтить наименьшее сопротивленіе. Но должно замѣтить, что наблюдаемый видъ молніи есть кажущійся, перспективный,—въ дѣйствительности нѣкоторыхъ острыхъ угловъ зигзага, можетъ быть, не существуетъ. Въ подтвержденіе этого мнѣнія служитъ то обстоятельство, что иногда молнія пересѣкаетъ, повидимому, свой путь; такое пересѣченіе есть, конечно, перспективное явленіе. Молнія продолжается чрезвычайно короткій промежутокъ времени. Отъ этого, всѣ движущіеся предметы, будучи освѣщены въ темную ночь молніею, кажутся неподвижными. Скачущая лошадь представляется остановившеюся; спицы быстро вращающагося колеса бываютъ отчетливо видны.

Чѣмъ суше воздухъ, раздѣляющій землю отъ электрическаго слоя облаковъ, и чѣмъ болѣе осажденіе пара, тѣмъ большее напряженіе пріобрѣтаетъ электричество. Этимъ объясняются сильныя грозы Сѣверо-Американскихъ Соединенныхъ Штатовъ, воздухъ которыхъ замѣчательно сухъ. Въ нѣкоторыхъ мѣстахъ пояса тишины громъ не перестаетъ, по причинѣ постояннаго осажденія водяного пара. По мѣрѣ удаленія отъ экватора къ полюсамъ, грозы рѣже и слабѣе; въ полярныхъ странахъ онѣ неизвѣстны.

Громъ въ отношеніи молніи то же, что трескъ въ отношеніи искры, получаемой изъ кондуктора электрической машины. На пути электрической струи воздухъ сильно накаливается и расширяется; кромѣ того, частицы наэлектризованнаго воздуха взаимно отталкиваются. Послѣ прохожденія молніи, воздухъ снова устремляется въ прежнее положеніе равновѣсія и производитъ звукъ.

Такимъ образомъ, молнія и громъ суть явленія современныя; а если громъ мы слышимъ послѣ молніи, то это происходитъ отъ того, что свѣтъ передается почти мгновенно, а звукъ для передачи требуетъ нѣкотораго времени. Причина, почему громъ продолжается нѣсколько времени, заключается въ томъ, что разныя точки молніи находятся отъ насъ въ разныхъ разстояніяхъ. Неравномѣрность звука или раскаты грома происходятъ отъ интерференціи звуковыхъ волнъ и отраженія отъ земныхъ предметовъ и облаковъ. Что земные предметы увеличиваютъ раскаты грома, ясно изъ того, что въ горахъ громъ сильнѣе и продолжительнѣе. Полагаютъ еще, что въ острыхъ углахъ зигзага молніи звуки должны быть сильнѣе.

Такъ какъ скорость звука въ воздухѣ извѣстна и именно равна приблизительно $^1/_3$ версты въ секунду, то легко опредѣлить разстояніе отъ насъ ближайшей точки молніи: замѣтивъ время, протекшее отъ ея появленія до того мгновенія, когда начинаемъ слышать громъ, должно число секундъ раздѣлить на три, и мы получимъ разстояніе въ верстахъ. Если бы наприм. прошло 12 секундъ, то молнія находится отъ насъ въ разстояніи 4-хъ верстъ. Такимъ образомъ найдено, что за 25 верстъ громъ не слышенъ.—Отраженіе отдаленной молніи въ облакахъ и воздухѣ, безъ грома, называется *зарницею*.

28. Возвратный ударъ.—Когда молнія ударяетъ въ предметъ, то нерѣдко производитъ разрушительное дѣйствіе и на другія тѣла, находящіяся отъ перваго иногда въ значительномъ разстояніи. Это явленіе объясняется такимъ образомъ. Когда облако заряжено положительнымъ электричествомъ, то на верхнихъ частяхъ предметовъ накопляется отрицательное; но когда облако разрядится черезъ одинъ изъ предметовъ, то отрицательное электричество другихъ предметовъ, не будучи удерживаемо положительнымъ электричествомъ облака, устремится въ землю и произведетъ то же дѣйствіе, какъ и настоящая молнія. Такое явленіе называется *возвратнымъ ударомъ*.

29. Огни Св. Эльма.—Если грозовыя облака стоятъ низко, воздухъ влаженъ и, слѣдовательно, хорошо проводитъ электричество, то электричество облаковъ не можетъ пріобрѣсти слишкомъ большое напряженіе. Тогда электричество, накопляющееся на остроконечіяхъ предметовъ, постепенно вытекаетъ въ воздухъ и нейтрализуетъ электричество облака. Отъ этого, всѣ остроконечія—вершины колоколенъ, громоотводовъ, каски, копья, даже уши лошадей свѣтятся; при этомъ слышится легкій трескъ, какъ изъ предметовъ, приближенныхъ къ кондуктору электрической машины. Это явленіе называется *огнями Св. Эльма;* оно совершенно безопасно и указываетъ на невозможность большого накопленія электричества въ облакахъ.

30. Громоотводы.—Зданія, для предохраненія ихъ отъ ударовъ молніи, снабжаются *громоотводами*. Громоотводъ есть заостренный металлическій стержень *a* (фиг. 6), утвержденный на крышѣ зданія; если крыша желѣзная или вообще металлическая, то ее достаточно соединить съ землею стержнемъ *c*, который своими развѣтвленіями *m* опускается въ колодезь, или по крайней мѣрѣ во влажную почву. Если крыша сдѣлана изъ непроводника электричества, то со стержнемъ *a* должны быть соединены разныя части крыши посредствомъ металлическихъ листовъ. Когда облако возбуждаетъ чрезъ вліяніе электричество въ громоотводѣ, то электричество, разноименное съ электричествомъ облака, вытекаетъ чрезъ остріе и постепенно разряжаетъ облако; если же облако было слишкомъ сильно наэлектризовано, то его электричество переходитъ въ остріе громоотвода и, не встрѣтивъ сопротивленія своему движенію, свободно уходитъ въ землю, не причинивъ зданію никакого вреда.

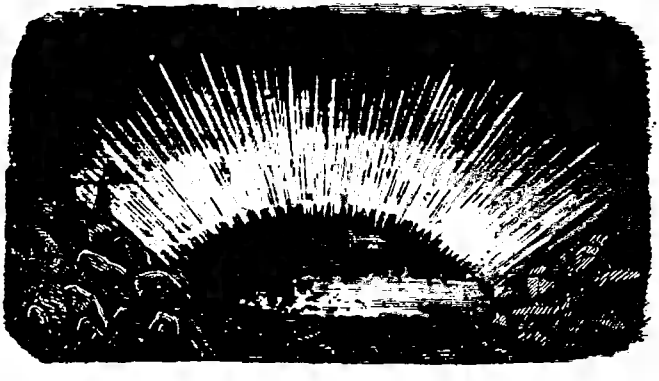
Фиг. 6.

31. Полярныя сіянія.—У сѣвернаго и южнаго полюсовъ земли наблюдается великолѣпное явленіе, называемое *полярнымъ сіяніемъ*, *сѣвернымъ* и *южнымъ*. Оно представляется подъ весьма различными видами, но въ общихъ чертахъ заключается въ слѣдующемъ. Во время ночи, на небесномъ сводѣ, на той сторонѣ горизонта, куда указываетъ полюсъ магнитной стрѣлки, появляется свѣтлая дуга, обращенная

своею выпуклостью вверхъ и окаймляющая черный сегментъ (фиг. 7). Изъ нея начинаютъ подыматься столбы свѣта, быстро измѣняющіеся въ цвѣтѣ и силѣ, то уничтожающіеся, то снова появляющіеся; въ самой дугѣ замѣтно волнообразное движеніе отъ одного края до другого. Свѣтовыя полосы иногда переходятъ за зенитъ, гдѣ образуютъ свѣтлое пятно, называемое *короною полярнаго сіянія*, и представляютъ такимъ образомъ часть свѣтлаго купола. Спустя нѣсколько времени, свѣтъ постепенно ослабѣваетъ и, наконецъ, совершенно уничтожается.

При большомъ развитіи, явленіе бываетъ видно не только въ странахъ полярныхъ, но даже умѣреннаго пояса до 40° широты.

Полярное сіяніе производится теченіемъ электричества отъ полюсовъ къ экватору, по верхнимъ слоямъ атмосферы, гдѣ сопротивленіе электричеству весьма незначительно. Справедливость этого предположенія подтверждаютъ многія явленія. Теченіе электричества чрезъ стеклянную трубку, въ которой воздухъ былъ разрѣженъ при помощи воздушнаго насоса, весьма похоже на полярное сіяніе. Незадолго до начала и во все продолженіе полярнаго сіянія, магнит-



Фиг. 7.

ная стрѣлка отклоняется отъ своего обыкновеннаго положенія то въ ту, то въ другую сторону. Наконецъ, во время сильныхъ полярныхъ сіяній на всѣхъ телеграфическихъ проволокахъ, имѣющихъ направленіе съ сѣвера на югъ, замѣчаются индуктированные токи, которые бываютъ такъ сильны, что нельзя передавать депеши. Такимъ образомъ, остается объяснить только происхожденіе свободнаго электричества въ полярныхъ странахъ; правда, есть нѣсколько гипотезъ, но всѣ онѣ мало вѣроятны.

Оптическіе метеоры.

32. Оптическіе метеоры.—Свѣтовые лучи, проходя чрезъ атмосферу, производятъ разныя оптическія явленія, которыя по большей части удовлетворительно объясняются на основаніи законовъ свѣта.

Голубой цвѣтъ неба.—Причина голубого цвѣта неба заключается въ томъ, что частицы атмосфернаго воздуха, будучи освѣщаемы лучами солнца, имѣютъ способность разсѣивать только голубые лучи. Отсюда ясно, что цвѣтъ неба долженъ быть тѣмъ ярче, чѣмъ плотнѣе воздухъ, потому что съ плотностью воздуха увеличивается число частицъ, разсѣивающихъ лучи; въ самомъ дѣлѣ, воздухоплаватели утверждаютъ, что въ верхнихъ областяхъ атмосферы небесный сводъ кажется темнымъ. Примѣсь водяныхъ паровъ, разсѣивающихъ безцвѣтные лучи, измѣняетъ цвѣтъ неба, дѣлаетъ его сѣрымъ въ большей или меньшей степени. Причину шаровидности небеснаго свода надо искать въ томъ свойствѣ нашего глаза, по которому, если предметъ находится отъ насъ далѣе извѣстнаго предѣла, то мы теряемъ всякую возможность судить о разстояніи, и намъ кажется, что всѣ такіе предметы удалены отъ насъ одинаково.

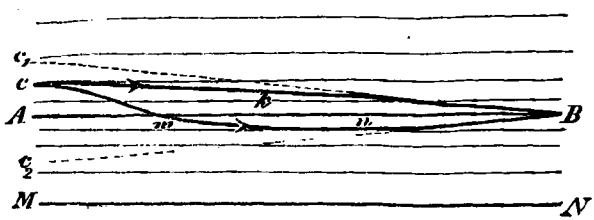
33. Изъ-заоблачныя сіянія.—Если небо покрыто густыми облаками, и въ промежуткахъ между ними прорываются солнечные лучи, то являются бѣлыя полосы, повидимому, расходящіяся отъ солнца. Это явленіе называется *изъ-заоблачнымъ сіяніемъ* и происходитъ отъ свѣта, разсѣиваемаго частицами атмосферы, лежащими на пути солнечныхъ лучей. То же самое наблюдается въ темной комнатѣ, въ которую впущены чрезъ отверстіе лучи свѣта: частицы воздуха и пылинки обозначаютъ направленіе лучей. Свѣтлыя полосы изъ-заоблачнаго сіянія должны быть, по причинѣ большого удаленія солнца, между собою параллельны, но, вслѣдствіе перспективы, онѣ кажутся расходящимися, подобно тому, какъ отдаленная часть весьма длинной и прямой улицы кажется уже, нежели та часть, которая находится вблизи насъ.

34. Заря.—*Заря* есть явленіе, замѣчаемое послѣ заката солнца и незадолго до его восхода, и заключается въ томъ, что та часть неба, въ которой находится солнце, окрашивается цвѣтами—отъ золотисто-желтаго до темно-пурпуроваго. Заря происходитъ отъ освѣщенія лучами солнца верхнихъ слоевъ атмосферы. Время, протекшее отъ начала до конца зари, называется *сумерками*.

35. Миражъ.—Иногда предметы, далеко находящіеся за горизонтомъ, и потому невидимые, показываются надъ нимъ въ прямомъ или обратномъ положеніи и почти всегда нѣсколько измѣненные. Это явленіе называется *миражемъ* или *зеркальностью воздуха;* въ Сициліи извѣстно подъ именемъ *фата-моргана*, въ Россіи—*марево*. По большей части оно наблюдается въ песчаныхъ степяхъ тропическаго пояса и состоитъ въ слѣдующемъ. Надъ горизонтомъ появляются два изображенія предмета: прямое и ниже—обратное, и какъ бы второе было отраженіемъ перваго въ спокойной поверхности воды. Подобное явленіе можно произвести искусственно, если смотрѣть вдоль раскаленной докрасна чугунной полосы; предметы, находящіеся на другомъ ея концѣ, кажутся удвоенными.

Миражъ происходитъ при необыкновенномъ распредѣленіи плотности атмосферы. Въ состояніи равновѣсія воздуха, плотность постепенно убываетъ съ удаленіемъ отъ земной поверхности, но при

исключительныхъ условіяхъ верхніе слои атмосферы могутъ быть плотнѣе нижнихъ. Такъ, въ песчаныхъ степяхъ, напр. въ Египтѣ, Сахарѣ, отъ сильнаго дѣйствія солнечныхъ лучей, прилегающій къ почвѣ слой воздуха сильно нагрѣвается и, расширяясь, становится менѣе плотнымъ; отъ этого, показатель его преломленія также убываетъ. Такимъ образомъ, начиная отъ поверхности земли MN (фиг. 8), плотность воздуха возрастаетъ до нѣкотораго предѣла AB, гдѣ она наибольшая, и потомъ уменьшается. То же самое бываетъ и на спокойной поверхности моря; хотя вода нагрѣвается не столь сильно, какъ суша, зато примѣсь водяныхъ паровъ уменьшаетъ плотность воздуха. Можно представить себѣ глазъ наблюдателя и видимую имъ точку c въ разныхъ положеніяхъ относительно AB. Мы разсмотримъ только тотъ случай, когда глазъ лежитъ въ B на предѣлѣ AB, а точка c выше. Лучи могутъ достигнуть глаза двумя путями. Переходя изъ средины менѣе преломляющей въ болѣе преломляющую, лучъ ckB будетъ приближаться къ отвѣсной линіи и опишетъ кривую линію ckB, выпуклую кверху, какъ при астрономической рефракціи *). Глазъ увидитъ тогда точку c въ c_1, выше дѣйствительнаго ея положенія, по направленію прямой линіи Bc_1, касательной къ кривой ckB въ B. Другой лучъ cm также пойдетъ по кривой cm, выпуклой кверху, пока не достигнетъ до AB; дальнѣйшій путь свой онъ совершаетъ, переходя изъ средины болѣе преломляющей въ менѣе преломляющую; поэтому, онъ удаляется отъ отвѣсной линіи и описываетъ кривую линію mn, выпуклую книзу. Можетъ случиться, что въ точкѣ n уголъ паденія будетъ болѣе предѣльнаго угла полнаго внутренняго отраженія, и тогда лучъ отразится, какъ отъ горизонтальнаго плоскаго зеркала, или какъ отъ поверхности воды въ спокойномъ состояніи. Послѣ того, лучъ будетъ переходить изъ средины менѣе преломляющей въ болѣе преломляющую, и потому, станетъ приближаться къ отвѣсной линіи, описывая кривую nB, выпуклую книзу. Тогда глазъ увидитъ точку c въ c_2, ниже ея дѣйствительнаго положенія, по направленію линіи Bc_2. Если вмѣсто точки c будетъ предметъ, получатся два его изображенія: первое—прямое и приподнятое, а второе—обратное и ниже дѣйствительнаго положенія предмета. Отъ нѣкоторыхъ точекъ, лежащихъ вблизи AB, лучи въ глазъ придти не могутъ; поэтому, между c и c_2 является неясное сѣрое пространство, и все явленіе представляется такимъ образомъ, какъ будто-бы c_2 было отраженіемъ c въ зеркальной поверхности воды.



Фиг. 8.

*) Объ астрономической рефракціи излагается въ математической географіи.

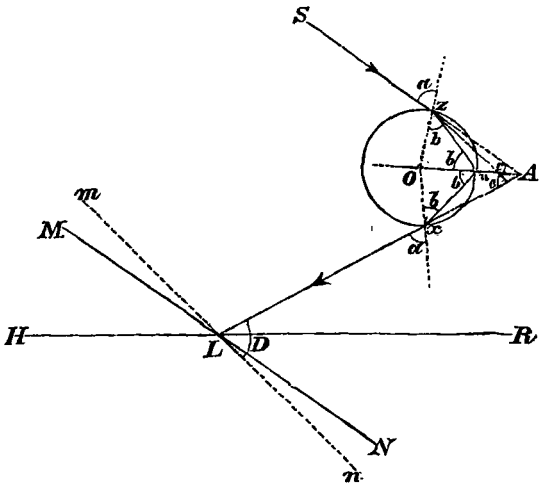
36. Радуга.—Если дождевыя капли освѣщаются солнцемъ, то въ нихъ является *радуга*. Она имѣетъ видъ дуги, окрашенной всѣми цвѣтами призматическаго спектра: внутренняя часть—фіолетовымъ цвѣтомъ, и наружная—краснымъ; между ними помѣщаются всѣ прочіе цвѣта. Чѣмъ солнце выше, тѣмъ ниже радуга; ея совсѣмъ не бываетъ, когда высота солнца болѣе 42°. Иногда замѣчается еще и другая радуга, окаймляющая первую въ разстояніи 9°; въ ней наблюдаются тѣ же цвѣта, хотя гораздо слабѣе и въ обратномъ порядкѣ: фіолетовый лежитъ на внѣшней части дуги, красный—внутри.

Можно произвести радугу искусственно; если будемъ смотрѣть на фонтанъ со стороны солнца, то въ капляхъ воды увидимъ радугу.

Луна, когда бываетъ въ полномъ блескѣ, также даетъ радугу, которой цвѣта однако довольны слабы.

Явленіе радуги вполнѣ удовлетворительно объясняется преломленіемъ и отраженіемъ свѣта въ дождевыхъ капляхъ.

Вообразимъ горизонтъ мѣста HR (фиг. 9), и пусть солнечный лучъ Sz падаетъ на каплю воды zux, имѣющую видъ шара, котораго центръ въ o. Проведя радіусъ oz, построимъ уголъ паденія a. Войдя въ каплю, лучъ приблизится къ перпендикуляру, образуя уголъ преломленія ozu, который назовемъ чрезъ b. При паденіи преломленнаго луча zu на внутреннюю сторону капли, въ точкѣ u, часть луча выйдетъ, часть отразится по ux. Въ точкѣ x часть луча отразится во внутренность капли, часть выйдетъ по xL подъ угломъ преломленія a; пусть эта часть луча входитъ въ глазъ наблюдателя L. Мы разсмотрѣли путь только одного луча. Если бы на каплю упалъ цѣлый пучекъ S (фиг. 10) параллельныхъ лучей, то вообще, по выходѣ изъ капли, лучи S_1 будутъ расходящимися; весьма немногіе изъ нихъ попадутъ въ глазъ наблюдателя, и, слѣдовательно, произведутъ слабое впечатлѣніе. Простыми вычисленіями можно доказать, что есть такое положеніе капли на небесномъ сводѣ, при которомъ параллельные лучи, вошедшіе въ каплю, и по выходѣ изъ нея, остаются параллельными; такіе лучи производятъ на глазъ достаточно сильное впечатлѣніе и называются *дѣятельными*. Проведемъ чрезъ глазъ L прямую линію MN, параллельную лучу S (фиг. 9) солнца. Если лучи были красные, то уголъ D, равный $\angle xLN$, составленный линіею MN и линіею Lx,



Фиг. 9.

по направленію которой лежитъ капля, испускающая дѣятельные лучи, равенъ 42°; для фіолетовыхъ лучей $\angle D = 40°$.

Отсюда выходитъ, что всякая точка небеснаго свода, для которой уголъ D равенъ 42°, покажется красною. Такія точки будутъ расположены по поверхности конуса, въ которомъ ось LN и производящая линія Lx составляютъ уголъ 42°. Разсуждая подобнымъ образомъ для фіолетовыхъ лучей, найдемъ, что внутри конуса xLN будетъ другой конусъ, котораго ось LN и производящая линія образуютъ уголъ въ 40°; между этими двумя конусами находятся конусы всѣхъ прочихъ лучей. Такимъ образомъ, наблюдатель долженъ увидѣть на небосклонѣ, въ противоположной сторонѣ отъ солнца, цвѣтную дугу, шириною въ 2°, окрашенную всѣми цвѣтами спектра; внутри будетъ фіолетовый цвѣтъ, потомъ синій, голубой и т. д., и, наконецъ, красный.

Мы разсмотрѣли, какая должна быть радуга отъ одной свѣтящейся точки; но солнце есть свѣтящееся тѣло, котораго каждая точка даетъ цвѣтную дугу шириною въ 2°. Эти дуги другъ друга частію покрываютъ, и цвѣта перемѣшиваются; чистыми остаются только цвѣта красный и фіолетовый. Такъ какъ угловой діаметръ солнца равенъ $^1/_2$°, то линія MN (фиг. 9), идущая отъ нижней точки солнца, и линія mn—отъ верхней точки того же свѣтила, образуютъ уголъ въ $^1/_2$°. Поэтому, ширина радуги будетъ увеличена на $^1/_2$°, и, слѣдовательно, вся ширина ея должна быть $2^1/_2$°, что и въ самомъ дѣлѣ наблюдается.

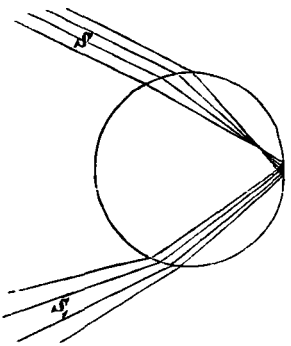
Изъ фигуры выходитъ, что высота xLR вершины радуги равна $\angle xLN - \angle RLN$ или $42° - \angle RLN$, гдѣ $\angle RLN$ есть, очевидно, высота нижней точки солнца. Значитъ радуга возможна только въ такомъ случаѣ, когда высота нижней точки солнца менѣе 42°; если высота равна 42°, то радуга вершиною своею касается горизонта. Въ Петербургѣ меридіанальная высота солнца, во время солнцестоянія, равна 52° 31′; слѣдовательно, въ эту пору радуга около полудня невозможна.

Свѣтъ можетъ достигнуть наблюдателя послѣ двухъ отраженій въ дождевой каплѣ, какъ это показано на фигурѣ 11, гдѣ S изображаетъ лучъ солнца, O каплю и L глазъ наблюдателя. Можно доказать, что дѣятельные красные лучи составляютъ уголъ 51° съ линіей, проведенною чрезъ глазъ наблюдателя и нѣкоторую точку солнца; для фіолетовыхъ лучей тотъ же уголъ равенъ 54°. Слѣдовательно, во второй радугѣ цвѣта расположены въ обратномъ порядкѣ. Разность обоихъ угловъ составляетъ 3°; приложивъ сюда видимый діаметръ солнца, получаемъ $3^1/_2$°—ширину второй радуги.

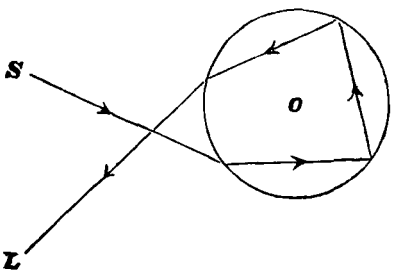
Вычисленіе также показываетъ, что радуги отъ 3-хъ и 4-хъ отраженій могутъ образоваться въ тѣхъ дождевыхъ капляхъ, которыя находятся между наблюдателемъ и солнцемъ; по причинѣ яркости этого свѣтила, онѣ никогда не бываютъ видимы. Пятая радуга должна быть на противоположной сторонѣ отъ солнца, между первыми двумя радугами, но она такъ слаба, что не была наблюдаема.

37. Вѣнчики. — Иногда солнце и луну, въ разстояніи отъ 1°

до 4°, окаймляютъ одинъ или нѣсколько цвѣтныхъ круговъ, окрашенныхъ внутри фіолетовымъ, а внѣ краснымъ цвѣтомъ. Подобное явленіе замѣчается, когда смотрятъ на свѣтящійся предметъ чрезъ стекло, покрытое мелкими каплями воды. Такія капли получаются, если на стекло подышать. Пламя газа, или лампы, видимое черезъ стекла уличныхъ фонарей и оконъ въ домахъ, также окружается цвѣтными каймами. Поэтому, весьма вѣроятно, что вѣнчики происходятъ отъ той же причины, и въ самомъ дѣлѣ они наблюдаются только въ томъ случаѣ, когда между глазомъ наблюдателя и солнцемъ или луною находятся облака, состоящія изъ малыхъ водяныхъ шариковъ.

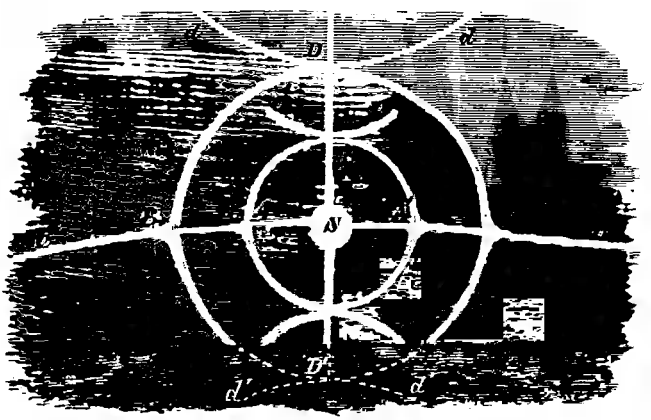


Фиг. 10.



Фиг. 11.

38. Цвѣтные круги.—Въ полярныхъ странахъ и даже, въ холодное время, въ умѣренныхъ поясахъ, нѣсколько круговъ цвѣтныхъ и безцвѣтныхъ появляются около луны, но съ бо́льшимъ блескомъ конечно около солнца. Во-первыхъ замѣчаютъ цвѣтной кругъ $ACA'C'$ около солнца S (фиг. 12) въ разстояніи 22° слишкомъ. Цвѣта этого круга обратны цвѣтамъ вѣнчиковъ: внутри лежитъ красный цвѣтъ,



Фиг. 12.

снаружи—фіолетовый. Въ разстояніи 46° является иногда и другой

кругъ $BDB'D'$ того же рода, т. е. снаружи фіолетовый и внутри красный. При большемъ развитіи явленія, чрезъ солнце проходятъ два бѣлыхъ круга: горизонтальный $bBAA'B'b'$ и вертикальный $DCC'D'$. Иногда являются еще цвѣтныя дуги dDd, aCa, $a'C'a'$ и $d'D'd'$, касательныя къ цвѣтнымъ кругамъ. На взаимныхъ пересѣченіяхъ круговъ получаются свѣтлыя пятна; самыя яркія A, A', B, B' и въ пересѣченіи бѣлыхъ круговъ, противъ солнца, называются *ложными солнцами* или *лунами*.

Весьма рѣдко наблюдаются разомъ всѣ круги и дуги—чаще являются тѣ или другіе, или части ихъ. Наконецъ, горизонтъ можетъ закрыть часть явленія, какъ это показано на фигурѣ. Самое обыкновенное явленіе—одинъ ближайшій къ свѣтилу кругъ $ACA'C'$, рѣже —два цвѣтные круга, около луны, когда между этимъ свѣтиломъ и глазомъ находятся легкія перистыя облака. Въ морозные дни, при закатѣ солнца, нерѣдко можно видѣть по обѣ стороны свѣтила столбы, которые составляютъ часть цвѣтныхъ круговъ. У поселянъ они извѣстны подъ именемъ морозныхъ столбовъ.

Всѣ эти явленія удовлетворительно объясняются преломленіемъ и отраженіемъ свѣта въ ледяныхъ кристалликахъ, которыми нерѣдко наполненъ воздухъ, отъ чего прозрачность его дѣлается менѣе обыкновенной.

---

39. Понятіе о темпестологіи. Подъ именемъ *темпестологіи* разумѣютъ часть метеорологіи, занимающуюся изученіемъ законовъ, по которымъ измѣняется погода: цѣль ея—предсказывать, на болѣе или менѣе продолжительный промежутокъ времени, состояніе атмосферы, т. е. направленіе и силу вѣтра, температуру, выпаденіе метеорическихъ осадковъ и проч., иными словами,—погоду.

Погода главнѣйшимъ образомъ зависитъ отъ направленія вѣтра, какъ въ нижнихъ, такъ и въ верхнихъ слояхъ атмосферы, потому что отъ направленія вѣтра зависятъ его качества: температура, количество содержащагося въ немъ пара и проч., т. е., именно, тѣ элементы, которые составляютъ погоду.

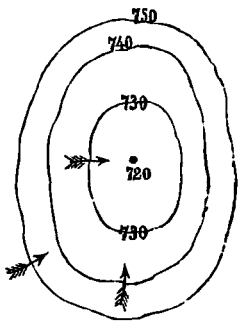
Изобары; Minimum и Maximum. Для предсказанія погоды необходимы многочисленныя метеорологическія наблюденія, одновременно произведенныя на большомъ пространствѣ земной поверхности. Чѣмъ обширнѣе пространство, чѣмъ больше метеорологическихъ обсерваторій, тѣмъ точнѣе будутъ предсказанія погоды. Сдѣланныя наблюденія, между которыми высота барометра *) имѣетъ наибольшее значеніе, сообщаются ежедневно одинъ или два раза въ день, по телеграфу, къ извѣстнымъ часамъ въ центральную обсерваторію. Здѣсь наблюденія наносятся на географическую карту; именно, соединяютъ линіями тѣ точки земной поверхности, которыя имѣютъ одну и ту же высоту барометра. Такія кривыя линіи называются *изобарами*. На фиг. 13 изображены три изобары. Внутренняя изобара

*) Сообщаются также: температура, направленіе и сила вѣтра, количество атмосферныхъ осадковъ, облачность, влажность и видъ моря, если мѣсто приморское.

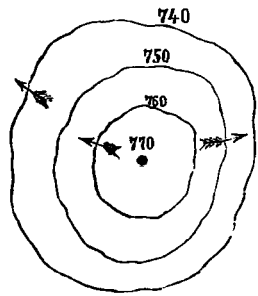
соединяетъ тѣ точки, гдѣ давленіе 730^{mm}. Во внутрь ея давленіе атмосферы уменьшается, и наименьшее давленіе 720^{mm} или, такъ называемый, минимумъ (minimum) находится внутри. Снаружи изобары 730^{mm}, давленіе во всѣ стороны увеличивается. Изобара 740^{mm} проходитъ чрезъ точки земной поверхности, гдѣ давленіе равно 740^{mm}. Уходя еще далѣе отъ минимума, мы достигаемъ изобары 750^{mm}. Между изображенными изобарами, понятно, можно начертить сколько угодно изобаръ съ промежуточными высотами барометра, если существуетъ достаточное число метеорологическихъ станцій.

Иногда изобары окружаютъ не минимумъ давленія, а максимумъ (maximum), т. е. самое большое давленіе. На фигурѣ 14 показанъ maximum въ 770^{mm}; отъ него давленіе во всѣ стороны уменьшается, что видно по изобарамъ 760^{mm}, 750^{mm} и 740^{mm}.

Для Европы принимаютъ во вниманіе только тѣ изобары, которыя проходятъ по ея материку, восточной части Атлантическаго океана и Средиземному морю, потому что, по недостатку наблюденій, нельзя начертить изобары чрезъ середину Атлантическаго океана, материкъ Африки, Центральную и Сѣверную Азію и Ледовитый океанъ*). Въ Европѣ всегда есть максимумы и минимумы, а такъ какъ высота барометра, въ каждомъ мѣстѣ, отъ одного до другого дня мѣняется, то максимумы и минимумы, вмѣстѣ съ окружающими ихъ изобарами, перемѣщаются, при чемъ измѣняется и форма изобаръ.



Фиг. 13.



Фиг. 14.

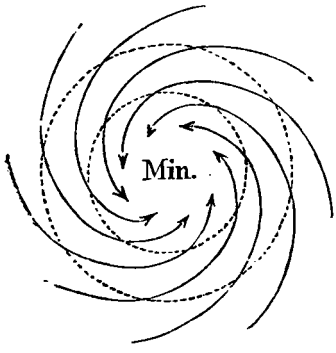
Минимумы и максимумы сопровождаются вѣтрами.

Вѣтры минимума и максимума. Частица воздуха тогда только можетъ пребывать въ покоѣ, когда она испытываетъ со всѣхъ сторонъ одно и то же давленіе. Если давленія не равны, частица въ покоѣ не останется и будетъ двигаться въ сторону наименьшаго давленія. Поэтому, въ массѣ воздуха должны возникнуть вѣтры, направляющіеся по земной поверхности, со всѣхъ сторонъ къ минимуму и во всѣ стороны отъ максимума. Между двумя изобарами вѣтеръ дуетъ отъ изобары большаго давленія къ изобарѣ меньшаго давленія. Сила вѣтра тѣмъ болѣе, чѣмъ быстрѣе измѣняется давленіе, по мѣрѣ приближенія къ минимуму, или максимуму. Измѣ-

*) Въ Америкѣ хорошо организована система метеорологическихъ станцій, но которыя не находятся въ постоянномъ сношеніи съ Европой; при томъ измѣненіе погоды въ Америкѣ не оказываетъ вліянія на нашу атмосферу, и только нѣкоторые ураганы достигаютъ чрезъ океанъ до береговъ Европы.

неніе высоты барометра на одну географическую милю называется *градіентомъ*. Направленіе градіента принимается перпендикулярнымъ къ изобарамъ или по направленію кратчайшаго разстоянія между двумя смежными изобарами; стрѣлки на фиг. 13 и 14 представляютъ направленія градіентовъ. Чѣмъ болѣе градіенты, тѣмъ сильнѣе вѣтеръ.

Изъ сказаннаго, казалось бы, слѣдовало заключить, что вѣтры должны дуть по направленію градіентовъ или перпендикулярно къ изобарамъ. Въ дѣйствительности, направленіе вѣтровъ иное, и это отступленіе удовлетворительно объясняется вращеніемъ земли на оси,—совершенно такъ же, какъ подобное же отступленіе въ пассатахъ и муссонахъ. Всякая частица воздуха, въ нашемъ полушаріи, двигающаяся съ южной стороны горизонта, между востокомъ и западомъ, къ сѣверной сторонѣ,—упреждаетъ движеніе земли на востокъ и отступаетъ къ востоку. Частица воздуха, двигающаяся по противоположному направленію, отъ сѣверной стороны горизонта къ южной, отстаетъ отъ движенія земли и отступаетъ къ западу. Отступленіе увеличивается по мѣрѣ приближенія къ полюсу; въ экваторіальныхъ странахъ оно весьма мало. Отступленіе тѣмъ болѣе, чѣмъ ближе къ меридіану направленіе движенія. Такимъ образомъ, частица воздуха приближается къ минимуму не по кратчайшему пути, но описываетъ кривую спиральную линію; направленіе движенія противоположно стрѣлкѣ часовъ. На фигурѣ 15 точками представлены двѣ изобары, окружающія минимумъ, а непрерывныя линіи изображаютъ пути воздушныхъ частицъ, приближающихся къ минимуму. — Воздухъ, приносимый вѣтромъ со всѣхъ сторонъ въ область минимума, подымается здѣсь въ верхніе слои атмосферы и стекаетъ на окружающія мѣстности.



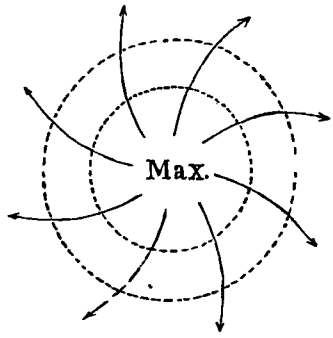
Фиг. 15.

Направленіе вѣтра лежитъ между градіентомъ и изобарою. Чѣмъ сильнѣе вѣтеръ, тѣмъ болѣе онъ отступаетъ отъ градіента и тѣмъ ближе лежитъ къ изобарѣ; весьма сильные вѣтры дуютъ почти по направленію изобаръ.

Минимумъ съ его вѣтрами можно разсматривать какъ огромныхъ размѣровъ вихрь. Воздухъ, его составляющій, безпрестанно перемѣняется: внутренняя часть имѣетъ восходящее теченіе, на мѣсто котораго прибываютъ струи воздуха по спиральнымъ линіямъ, отъ окраинъ вихря.

Не трудно убѣдиться, что движеніе частицъ воздуха въ максимумѣ, есть также криволинейное и совершается по направленію стрѣлки часовъ. На фигурѣ 16 изобары представлены точками, а пути частицъ—непрерывными линіями.

Движеніе воздуха въ максимумѣ также вихревое; здѣсь воздухъ спускается изъ верхнихъ слоевъ атмосферы и потомъ расплывается во всѣ стороны по земной поверхности.



Фиг. 16.

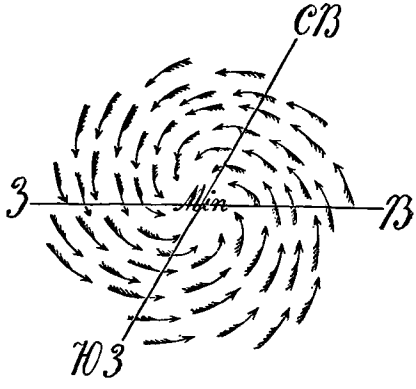
Если станемъ лицомъ въ ту сторону, куда дуетъ вѣтеръ, то minimum будетъ впереди насъ и нѣсколько влѣво, а maximum—сзади и нѣсколько вправо.

Вихревое движеніе воздуха въ минимумахъ и максимумахъ южнаго полушарія противоположно предыдущему: въ минимумахъ — по направленію стрѣлки часовъ, въ максимумахъ — по обратному направленію.

Вѣтры, окружающіе minimum и maximum, обладаютъ противоположными свойствами, а потому оба вихря приносятъ совершенно различную погоду.

Массы воздуха, прибывающія со всѣхъ сторонъ къ минимуму, подымаются въ верхніе слои атмосферы. Подымающійся воздухъ охлаждается, и если онъ въ достаточной степени влаженъ, то выдѣляетъ водяные метеоры.

Самые влажные вѣтры приходятъ съ большихъ водныхъ пространствъ; въ Европѣ—съ Атлантическаго океана. Принимая вихреобразное движеніе, они мало по малу отступаютъ отъ своего направленія. Западный, напримѣръ, вѣтеръ переходитъ постепенно въ ЮЗ, потомъ въ Ю, и достигаетъ восходящаго теченія въ ЮВ направленіи. Во всѣхъ мѣстностяхъ, окружающихъ минимумъ, гдѣ будутъ дуть вѣтры, пришедшіе съ Атлантическаго океана, погода будетъ теплая и ненастная. Напротивъ, вѣтры, возникшіе на Ледовитомъ океанѣ и на сѣверѣ Азіи, приносятъ холодную и, по большей части, ясную погоду. Пусть вихрь двигается съ З на В (фиг. 17). Прямая линія, проведенная чрезъ minimum приблизительно съ СВ на ЮЗ, дѣлитъ вихрь на части, имѣющія различную погоду. Въ восточной (передней) половинѣ дуютъ вѣтры ЮВ, Ю, ЮЗ и З, теплые и большею частію влажные, сопровождаемые водяными метеорами; барометръ стоитъ низко. Въ западной (задней)



Фиг. 17.

половинѣ—преобладаютъ вѣтры СЗ, С, СВ и В—холодные и содержащіе въ себѣ незначительное количество водяного пара; погода бываетъ холодная и преимущественно ясная. Барометръ стоитъ высоко.

Въ вихрѣ съ максимумомъ воздухъ спускается изъ верхнихъ областей атмосферы на страны съ большимъ давленіемъ и потомъ расплывается въ разныя стороны по земной поверхности. Спускающіяся весьма холодныя массы воздуха согрѣваются и хотя остаются холодными, но пары, содержащіеся въ нихъ, удаляются отъ состоянія насыщенія. Значитъ, всѣ вѣтры максимума должны быть сухи и холодны; мѣстности, надъ которыми стоитъ максимумъ, имѣютъ погоду ясную и въ зимнее время холодную, потому что, по причинѣ прозрачности воздуха, земля сильно охлаждается чрезъ лучеиспусканіе теплорода.

Движеніе вихрей. Если пары, содержащіеся въ воздухѣ, переходятъ въ жидкое состояніе, то оставляютъ пустое пространство, а это влечетъ за собою уменьшеніе давленія атмосферы. Если въ какой нибудь мѣстности образовался минимумъ, то возбужденные имъ вѣтры, прибывая къ минимуму и выдѣляя свои пары, будутъ поддерживать низкое барометрическое давленіе, и преимущественно въ той части вихря, гдѣ будетъ болѣе обильное выдѣленіе водяныхъ метеоровъ, т. е. преимущественно въ восточной (передней) половинѣ вихря. Такимъ образомъ, въ ту пору, какъ притекающія массы воздуха съ запада увеличиваютъ давленіе въ минимумѣ,—на восточной сторонѣ давленіе падаетъ и образуется новый минимумъ. Иначе сказать—минимумъ перемѣщается. И въ самомъ дѣлѣ, минимумы двигаются, приблизительно, на востокъ, или СВ, и вообще на восточную часть горизонта. Скорость ихъ движенія различна и доходитъ до 80 верстъ въ часъ.

Не слѣдуетъ думать, что новый минимумъ долженъ быть менѣе прежняго, потому что величина послѣдняго измѣняется и можетъ увеличиться, или уменьшиться, въ зависимости отъ скорости прибывающихъ массъ воздуха, ихъ температуры и количества содержащагося въ нихъ пара. Для движенія вихря достаточно, чтобы въ сосѣдней мѣстности возникло атмосферное давленіе, которое было бы меньше современнаго ему давленія въ прежнемъ минимумѣ.

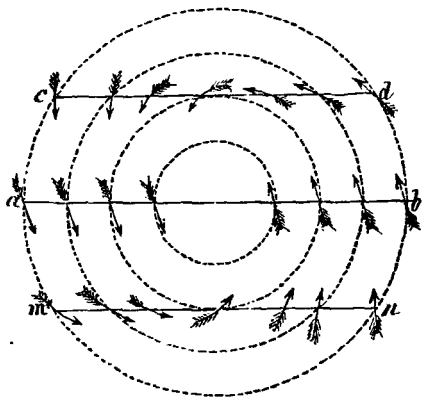
Мы разсмотрѣли движеніе минимума на восточную сторону горизонта; бываютъ движенія обратныя—къ западной сторонѣ горизонта, съ сѣвера на югъ, съ юга на сѣверъ, хотя и весьма рѣдко. Чтобы объяснить это, необходимо принять, что самое обильное выдѣленіе водяныхъ метеоровъ бываетъ, во всякомъ случаѣ, въ передней половинѣ вихря, хотя бы эта половина была обращена не на востокъ, а къ другой сторонѣ горизонта; и дѣйствительно, въ передней части вихря погода хуже, чѣмъ въ задней.

Въ максимумахъ осажденіе пара чрезвычайно рѣдко; поэтому, движеніе ихъ не зависитъ отъ образованія водяныхъ метеоровъ, и максимумы двигаются крайне медленно, или долго держатся надъ одною и тою же мѣстностью. Погода стоитъ тихая и ясная, а зимою холодная.

Смѣна вѣтровъ. При прохожденіи вихря съ минимумомъ чрезъ какую-либо мѣстность, вѣтры смѣняются въ извѣстномъ порядкѣ, въ зависимости отъ направленія вихря и смотря по тому, въ какихъ частяхъ вихря находится мѣстность.

Пусть минимумъ двигается въ направленіи отъ *a* къ *b* (фиг. 18), отъ запада къ востоку.

Здѣсь могутъ встрѣтиться три различные случая. Если мѣстность лежитъ на пути *ab* минимума, то въ моментъ вступленія вихря на эту мѣстность подымается ЮВ вѣтеръ; сила вѣтра увеличивается по мѣрѣ приближенія минимума, но направленіе его не измѣняется. Высота барометра уменьшается. Въ серединѣ вихря вѣтеръ падаетъ, а потомъ вдругъ начинаетъ дуть съ противоположной стороны; въ данномъ случаѣ—съ СЗ. Барометрическая высота увеличивается. Если вихрь проходитъ чрезъ нѣкоторую мѣстность по линіи *mn*, своею правою стороною, то вѣтеръ начинается съ Ю (въ точкѣ *n*); мало по малу онъ переходитъ въ ЮЮЗ, далѣе въ ЮЗ, З, ЗСЗ, СЗ, такъ что поворачиваніе вѣтра совершается по направленію стрѣлокъ часовъ. Для мѣстности, прорѣзывающей лѣвую сторону вихря по линіи *cd*, первый вѣтеръ будетъ съ юго-восточной стороны горизонта; за нимъ послѣдуютъ: В, ВСВ, СВ и С; слѣдовательно, смѣна вѣтровъ совершается тогда по направленію, обратному движенію часовой стрѣлки. Тѣ же сужденія можно приложить ко всякой части вихря.



Фиг. 18.

По мѣрѣ движенія минимума съ З на В, разныя мѣстности входятъ въ область вихря, и въ нихъ возникаютъ вѣтры, соотвѣтственно ихъ положенію. Весьма интересно, что въ лѣвой сторонѣ вихря восточные вѣтры распространяются противоположно своему направленію, т. е. чѣмъ мѣстность лежитъ болѣе къ востоку, тѣмъ позднѣе подымается вѣтеръ. Южные вѣтры въ правой половинѣ вихря распространяются бокомъ на В. Распространеніе западныхъ вѣтровъ совпадаетъ съ ихъ направленіемъ.

Мы разсмотрѣли смѣну вѣтровъ въ предположеніи, что вихрь двигается съ запада на востокъ. Если вихрь идетъ съ ЮЗ на СВ, или вообще съ западной стороны горизонта на восточную, уклоняясь на сѣверъ, или югъ, вѣтры могутъ быть иные, но смѣна ихъ всегда совершается въ правой сторонѣ вихря—по направленію стрѣлки часовъ, въ лѣвой—по обратному направленію. Обыкновенное движеніе вихрей—съ ЮЗ на СВ. Неизвѣстныя причины усиливаютъ иногда осажденіе пара въ западной части вихря, такъ

что онъ принимаетъ необычное направленіе, съ восточной стороны горизонта на западную. Тогда смѣна вѣтровъ совершается въ обратномъ порядкѣ выше указанному, но тѣмъ не менѣе въ правой сторонѣ вихря—по направленію стрѣлки часовъ и въ лѣвой—по обратному.

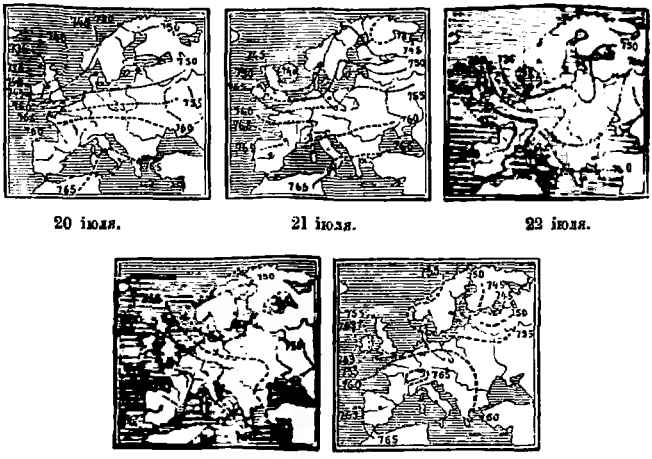
Все вышеизложенное относится къ вихрямъ сѣвернаго полушарія; въ вихряхъ южнаго полушарія направленіе вѣтровъ и ихъ смѣна противоположны предыдущему.

Изложенная теорія вполнѣ примѣнима только къ сильнымъ вѣтрамъ, сопровождающимъ сильный минимумъ, съ большими градіентами, и наилучше къ тропическимъ ураганамъ, гдѣ градіентъ достигаетъ величины 3^{mm}, 6, между тѣмъ какъ въ нашихъ буряхъ онъ, къ счастію, рѣдко превышаетъ 0^{mm}, 3. Малые размѣры ураганов объясняются небольшимъ уклоненіемъ вѣтровъ подъ вліяніемъ вращенія земли на оси. По мѣрѣ удаленія отъ экватора, это вліяніе увеличивается, ураганы расширяются и вмѣстѣ съ тѣмъ ослабѣваютъ, а разнообразіе мѣстныхъ усилій обширнаго пространства, которое обнимаетъ выхрь, уклоняетъ вѣтры въ большей или меньшей степени отъ ихъ правильности.

Предсказаніе погоды. Совокупность всѣхъ свойствъ вѣтровъ, окружающихъ минимумъ, даетъ возможность опредѣлить, въ какой части вихря мы находимся, какое направленіе имѣетъ минимумъ и въ какой сторонѣ отъ насъ онъ лежитъ; отсюда можно сдѣлать заключеніе о вѣроятномъ состояніи погоды на 2—4 дня впередъ. Для болѣе точнаго предсказанія погоды, надо имѣть свѣдѣнія о положеніи минимумовъ и максимумовъ за нѣсколько дней. Съ этою цѣлью, всѣ обсерваторіи какой либо страны или государства ежедневно, въ опредѣленный часъ, посылаютъ чрезъ телеграфъ численныя данныя о состояніи погоды въ центральную обсерваторію. Здѣсь они наносятся на карту. Имѣя за нѣсколько дней системы изобаръ, можно указать дальнѣйшее движеніе минимума съ окружающими его вѣтрами, а отсюда выводятъ заключенія о состояніи погоды на недѣлю или болѣе впередъ. Если той или другой мѣстности угрожаетъ буря, то туда посылаются телеграммы. Въ приморскихъ мѣстахъ вывѣшиваются сигналы, и моряки и рыбаки, сообразуясь съ ними, уходятъ въ море или остаются въ безопасной гавани. Такъ какъ наилучше предугадывается бурное состояніе атмосферы, то темпестологія оказываетъ болѣе услугъ морякамъ, чѣмъ земледѣльцамъ, для которыхъ выпаденіе водяныхъ метеоровъ имѣетъ первенствующее значеніе. Чтобы предсказывать погоду съ бо́льшею точностью, чтобы не только предупреждать о приближеніи бури, но и опредѣлять, хотя бы приблизительно, количество атмосферныхъ осадковъ и температуру,—необходимы болѣе многочисленныя чѣмъ теперь метеорологическія станціи, связанныя телеграфными проволоками съ центральною обсерваторіею.

Для разъясненія сказаннаго, мы разсмотримъ ходъ бури, прошедшей по Сѣверной Европѣ въ теченіе 20—24 іюля 1879 года. Фигура 19 представляетъ 5 географическихъ картъ Европы съ

начерченными на нихъ изобарами для 5 дней; числа, поставлен-



20 іюля. 21 іюля. 22 іюля.

23 іюля. 24 іюля.

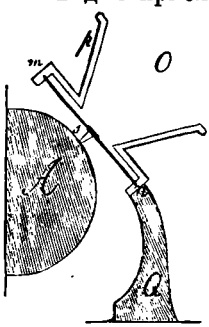
Фиг. 19.

ныя на изобарахъ, означаютъ высоту барометра въ миллиметрахъ. 20-го іюля обнаружился довольно сильный минимумъ на Атлантическомъ океанѣ, на СЗ Великобританіи, съ большими градіентами. На картѣ показаны окружающія его изобары: 736, 740 и 745; онѣ смыкаются въ Атлантическомъ океанѣ, но направленія ихъ на картѣ не показаны, по недостатку наблюденій. Въ Южной Европѣ господствуетъ высокое атмосферное давленіе. Къ 21-му іюля минимумъ ослабѣлъ и передвинулся на В; онъ окруженъ сомкнутой изобарой въ 740^{mm}. 22-го іюля минимумъ ослабѣлъ еще болѣе и достигъ береговъ Швеціи. 23-го іюля, минимумъ, продолжая ослабѣвать, былъ уже надъ Ладожскимъ озеромъ, 24-го достигъ Бѣлаго моря, а 25-го исчезъ. 24-го іюля показался на западѣ Ирландіи новый минимумъ, довольно слабый. Въ теченіе этихъ дней были сильные вѣтры въ Англіи и Франціи. Въ то же время въ Южной Европѣ стояло высокое барометрическое давленіе. 23-го іюля максимумъ обозначился ясно; онъ стоялъ надъ Испаніей и Южной Франціей. 24-го было два максимума: одинъ во Франціи, другой къ югу отъ Испаніи.

ПРИБАВЛЕНІЕ III.

Фонографъ. *Фонографъ* состоитъ изъ цилиндра *A* (фиг. 1), вращающагося на оси *cc'* и приводимаго въ такое движеніе рукояткою *d*. Одна часть *c* оси имѣетъ винтовые нарѣзы, а одна изъ подставокъ *b*—гайку. При вращеніи оси, цилиндръ *A* получаетъ горизонтальное движеніе между подставками, въ ту или другую сторону, смотря по направленію вращенія; если рукоятку враща-

ютъ по направленію стрѣлки часовъ, то винтъ c ввинчивается въ гайку, и цилиндръ A подвигается къ поставкѣ b; при вращательномъ движеніи въ противоположную сторону, цилиндръ удаляется отъ той же подставки. При каждомъ полномъ оборотѣ, цилиндръ A подвигается впередъ, или назадъ, на величину, равную разстоянію между винтовыми нарѣзами. На самомъ цилиндрѣ A также нарѣзанъ винтъ; разстояніе между его витками совершенно такое же, какъ и на оси c. Необходимая часть фонографа—упругая пластинка, приготовляемая изъ пергамента, металла, или слюды; она утверждается по своей окружности и закрываетъ отверстіе трубки p, обращенное къ цилиндру A. Фиг. 2 изображаетъ разрѣзъ фонографа, перпендикулярный къ его длинѣ; mn обозначаетъ упругую пластинку; по серединѣ ея утверждается стальной штифтикъ s съ тупымъ концомъ, который устанавливается какъ разъ противъ одного изъ нарѣзовъ винта на цилиндрѣ A; эта установка достигается при помощи особыхъ винтовъ, не показанныхъ на фигурѣ и которыми можно передвигать стойку Q, поддерживающую трубку p съ пластинкой mn. Равнымъ образомъ на фигурѣ не показанъ другой винтъ для приближенія или удаленія стойки Q отъ цилиндра.



Фиг. 2.

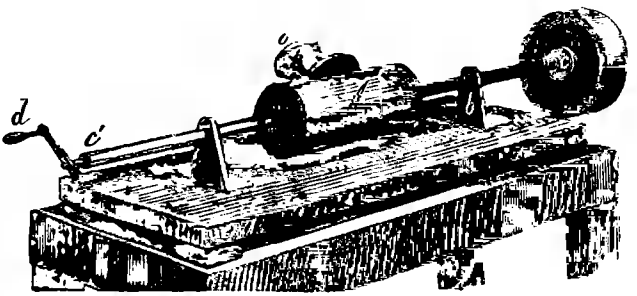
Чтобы произвести опытъ, цилиндръ туго обтягиваютъ оловяннымъ листомъ*) и края скрѣпляютъ клеемъ. Затѣмъ, подвигаютъ стойку Q къ цилиндру, чтобы штифтикъ вдавилъ оловянный листъ въ нарѣзы винта. Фигура 3 изображаетъ, въ увеличенномъ размѣрѣ, продольный разрѣзъ края цилиндра A съ его винтовыми нарѣзами; тонкая линія представляетъ оловянный листъ, облегающій цилиндръ, s — штифтикъ упругой пластинки mn. Если станемъ вращать рукоятку d (фиг. 1), то цилиндръ A получитъ горизонтальное движене, но конецъ штифта постоянно будетъ погруженъ въ углубленіе винта и опишетъ по оловянной пластинкѣ углубленную спиральную линію.

Фиг. 3.

Если предъ отверстіемъ O трубки p будетъ произведенъ звукъ, а цилиндръ приведенъ во вращательное движеніе, то пластинка mn и прикрѣпленный къ ней штифтъ придутъ въ дрожаніе. Смотря по роду звука, дрожанія упругой пластинки будутъ различны; въ зависимости отъ этого и конецъ штифта описываетъ разнообразныя кривыя линіи. Погружаясь въ винтовые нарѣзы цилиндра A, штифтъ оставляетъ на оловянномъ листѣ углубленія. Величина этихъ углубленій, а также форма и порядокъ бываютъ различны и зависятъ отъ качества произведеннаго звука: его силы, высоты и цвѣта.

*) Правильнѣе—приготовленнымъ изъ сплава олова со свинцомъ.

Отодвинемъ стойку Q отъ цилиндра A и, вращая рукоятку d въ противоположную сторону, приведемъ цилиндръ A въ прежнее положеніе, такъ чтобы конецъ штифта стоялъ противъ той же точки оловяннаго листа, съ которой начатъ былъ опытъ. Потомъ, приблизивъ подставку Q къ цилиндру, чтобы штифтикъ вошелъ въ нарѣзы на столько же, какъ и прежде, станемъ вращать рукоятку въ ту же сторону, какъ и въ первый разъ. Тогда конецъ штифта, упираясь въ оловянный листъ и двигаясь по оставленнымъ имъ слѣдамъ, получаетъ тѣ же дрожанія, какія имѣлъ въ первый разъ, и сообщаетъ эти дрожанія упругой пластинкѣ. Такимъ образомъ, въ пластинкѣ повторяются прежнія дрожанія; они сообщаются воздуху, и изъ отверстія O исходятъ звуки. На основаніи вышеизложеннаго, можно надѣяться, что эти звуки будутъ повтореніемъ тѣхъ звуковъ, которые были произведены предъ фонографомъ. Они и въ самомъ дѣлѣ весьма схожи, но не тожественны. Наилучше воспроизводится мелодія въ среднемъ регистрѣ, хотя и съ значи-



Фиг. 1.

тельнымъ измѣненіемъ тембра. При этомъ необходимо, чтобы вращеніе рукоятки было совершенно равномѣрное. Если движеніе ускоряется, то тонъ повышается, въ обратномъ случаѣ — понижается. Для полученія равномѣрнаго движенія, въ фонографахъ новѣйшаго устройства вращеніе производится часовымъ механизмомъ. Членораздѣльные звуки, сопровождаемые, какъ извѣстно, весьма высокими гармониками, воспроизводятся неудовлетворительно, въ особенности нѣкоторыя согласныя буквы (*ф*, *ш*, *щ*). При томъ, во всякомъ случаѣ, звуки должны быть очень сильны и производимы у самого отверстія O трубки.

Если трубкѣ p дать видъ, изображенный на фигурѣ 4, то на фонографѣ можно запечатлѣть двѣ мелодіи; такимъ способомъ превосходно воспроизводится дуэтъ, исполненный человѣческими голосами, или духовыми инструментами.

Фиг. 4.

Фонографъ, въ настоящемъ его состояніи, есть снарядъ еще весьма несовершенный и хотя въ научномъ отношеніи представляетъ высокій интересъ, но для практики—пока безполезенъ.

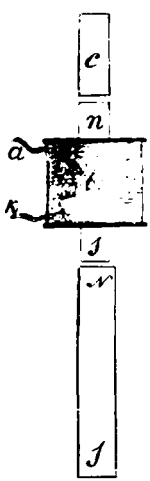
Причина несовершенства фонографа лежитъ въ недостаточной

отзывчивости упругой пластинки и особенно въ дурныхъ качествахъ оловяннаго листа. Матеріалъ, изъ котораго приготовляется обкладка цилиндра A, долженъ быть очень мягокъ, чтобы на немъ отпечатлѣвались всякія дрожанія штифта, даже самыя слабыя, а для воспроизведенія звуковъ надлежало бы имѣть матеріалъ твердый, чтобы дрожанія сообщались штифту и пластинкѣ безъ потери.

Фонографъ изобрѣтенъ Эдиссономъ.

Телефонъ. Необходимѣйшая часть *телефона*—подковообразный магнитъ NRS (фиг. 5). Къ полюсамъ его N и S прикасаются двѣ катушки b, т. е. двѣ желѣзныя пластинки, обмотанныя очень тонкой проволокой, концы которой a и k выходятъ наружу и закрѣплены въ винтахъ*). Въ весьма близкомъ разстояніи отъ полюсовъ катушки помѣщается желѣзная пластинка mn. Всѣ эти части закрѣплены въ деревянномъ футлярѣ, котораго очертанія показаны на фигурѣ пунктиромъ. Въ верхней части футляра сдѣлано чашеобразное углубленіе, на днѣ котораго есть отверстіе O, обращенное къ пластинкѣ mn.

Представимъ себѣ два телефона, находящіеся въ двухъ различныхъ мѣстностяхъ. Соединимъ концы a и k проволоки одного телефона съ концами проволоки другого. Если у отверстія одного (фиг. 7) изъ телефоновъ производить звуки, наприм. пѣть, или говорить, то въ другомъ телефонѣ эти звуки будутъ слышны, хотя бы разстояніе между телефонами было весьма велико, однако же не болѣе 60 верстъ. Телефонъ, въ который говорятъ, мы будемъ называть *передаточнымъ*, а телефонъ, которымъ слушаютъ—*пріемнымъ*.



Фиг. 6.

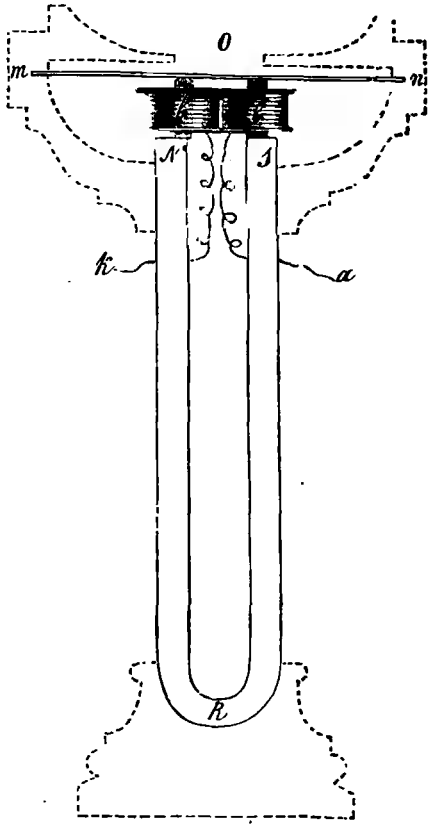
До сихъ поръ нѣтъ удовлетворительнаго объясненія явленій, наблюдаемымъ въ телефонѣ; слѣдующее объясненіе наиболѣе употребительно. Оно основано на томъ, что, чрезъ усиленіе или ослабленіе магнитизма, можно возбудить индуктированные токи.

Если кусокъ желѣза приблизить къ одному изъ полюсовъ магнита, то въ желѣзѣ на ближайшемъ концѣ возбудится противоположный магнитизмъ, который въ свою очередь будетъ дѣйствовать на полюсъ магнита и усилитъ въ немъ магнитизмъ. Это приращеніе магнитизма исчезаетъ, какъ только желѣзо будетъ удалено отъ магнита. Приложимъ къ магниту NS (фиг. 6) катушку b, то есть кусокъ желѣза ns, обмотанный проволокой, концы которой a и k соединимъ съ чувствительнымъ гальваноскопомъ. Въ ближайшей точкѣ его s къ полюсу N обнаружится южный магнитизмъ, а въ точкѣ n—сѣверный. Станемъ приближать другой кусокъ желѣза c къ полюсу n катушки. Тогда магнитизмъ, возбужденный магнитомъ въ желѣзѣ катушки, будетъ усиливаться, а въ проволокѣ катушки явится индуктиро-

*) На фигурѣ винты не обозначены; ихъ можно видѣть на фигурѣ 7.

ванный токъ, который обнаружится отклоненіемъ магнитной стрѣлки въ гальваноскопѣ. Если удалять кусокъ желѣза *c* отъ полюса *n* катушки, то магнитизмъ ослабѣваетъ; является индуктированный токъ противоположнаго направленія.

Когда желѣзная пластинка *mn* въ телефонѣ (фиг. 5) дрожитъ, то, приближаясь къ катушкамъ *b*, или удаляясь, она возбуждаетъ въ нихъ индуктированные токи. Эти токи (фиг. 6) бѣгутъ на другую станцію въ пріемный телефонъ и, смотря по ихъ направленію, усиливаютъ или ослабляютъ магнитизмъ желѣзныхъ стержней катушекъ. Если магнитизмъ усиливается, то притяженіе пластинки къ полюсамъ увеличивается и она еще болѣе закривляется во внутрь; при ослабленіи магнитизма, пластинка распрямляется. Такимъ образомъ, пластинка пріемнаго телефона приходитъ въ такія же дрожанія, какъ и пластинка передаточнаго телефона. Если у отверстія передаточнаго телефона производится сложный звукъ, состоящій изъ многихъ тоновъ разной высоты, то желѣзная пластинка дѣлится узловыми линіями на части. Дрожанія каждой части даетъ свою систему индуктированныхъ токовъ; вся совокупность токовъ передается въ пріемный телефонъ и воспроизводитъ тѣ же дрожанія въ желѣзной пластинкѣ, какія были въ передаточномъ снарядѣ. Дрожанія желѣзной пластинки пріемнаго телефона сообщаются воздуху.



Фиг. 5.

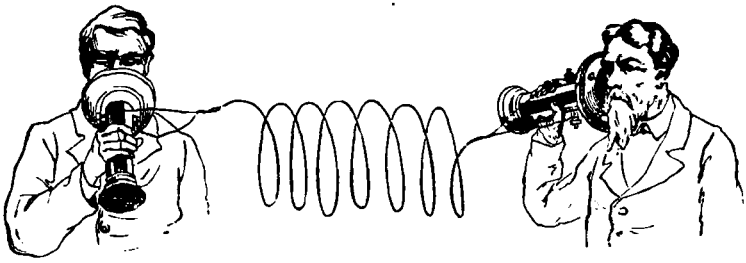
Приведенное объясненіе нельзя считать удовлетворительнымъ, такъ какъ есть противорѣчащія ему явленія. Достаточно сказать, что можно замѣнить желѣзную пластинку другою изъ немагнитнаго металла, или изъ пергамента, и даже совсѣмъ принять пластинку; наконецъ, что въ особенности удивительно, можно, вмѣсто магнита, взять пучокъ ненамагниченныхъ желѣзныхъ проволокъ; звуки въ пріемномъ аппаратѣ будутъ все-таки слышны, хотя и гораздо слабѣе.

Другія объясненія также не обнимаютъ всѣхъ явленій.

Телефонъ есть снарядъ несовершенный. Весьма высокіе тоны

либо вовсе не передаются, или весьма худо; поэтому, звуки воспроизводятся съ измѣненіемъ цвѣта, а нѣкоторыя согласныя буквы совершенно теряются. Тѣмъ не менѣе членораздѣльная рѣчь на столько внятна, что при нѣкоторомъ навыкѣ можетъ быть разобрана.

Самый важный недостатокъ телефона — слабость звуковъ; сила звука при передачѣ уменьшается по крайней мѣрѣ въ 10000 разъ. Поэтому, необходимо говорить въ передаточный телефонъ весьма громко, а въ комнатѣ, гдѣ находится пріемный приборъ, должна быть полная тишина. По той же причинѣ приходится имѣть особые сигнальные снаряды, чтобы привлечь вниманіе, когда хотятъ телефонировать, потому что въ небольшомъ разстояніи отъ пріемнаго снаряда (2—3 метра) звуковъ не слышно. Единственно удобный сигнальный приборъ — электрическій звонокъ. Попытки избѣжать гальванической батареи, необходимой для звонка, были до сихъ поръ неудачны.



Фиг. 7.

Цвѣтъ звука и въ особенности человѣческая рѣчь характеризуются огромнымъ количествомъ весьма высокихъ гармоникъ, и можно сказать безъ преувеличенія, что членораздѣльные звуки сопровождаются сотнями тысячъ разнообразныхъ колебаній въ секунду; каждое колебаніе возбуждаетъ въ проволокахъ телефона два индуктированныхъ тока. Сосуществованіе въ одной проволокѣ такого огромнаго числа токовъ заслуживаетъ удивленія, но вмѣстѣ съ тѣмъ не позволяетъ надѣяться, что телефонъ можетъ дѣйствовать на большихъ разстояніяхъ, не смотря на то, что электричество имѣетъ весьма большую скорость, не уступающую скорости свѣта. Въ самомъ дѣлѣ, далѣе 60 верстъ телефонъ оказался безсильнымъ.

Одну изъ проволокъ, соединяющихъ телефоны, нельзя замѣнять землею, потому что тогда появляются посторонніе звуки, вѣроятно, возбуждаемые токами, существующими въ землѣ. Если при этомъ проволока лежитъ на столбахъ, поддерживающихъ телеграфныя проволоки, то присоединяется стукъ клавишей телеграфа Морса, и съ такою отчетливостью, что можно читать по слуху передаваемыя телеграммы.

Не смотря на свои недостатки, телефонъ, на небольшихъ разстояніяхъ, нерѣдко примѣняется; нельзя, однакожъ, не признать, что во многихъ случаяхъ примѣненіе его истекаетъ не столько изъ его полезности, сколько изъ справедливаго удивленія къ тѣмъ явленіямъ которыя представляетъ этотъ снарядъ.

Телефонъ изобрѣтенъ Беллемъ.

ПРИБАВЛЕНІЕ IV.

Сохраненіе энергіи.

Понятіе объ энергіи. *Энергіей* тѣла называется его способность совершить механическую работу.

Различаютъ два рода энергіи *кинетическую* и *потенціальную*.

Кинетическая энергія. Кинетическою энергіею обладаетъ всякое тѣло, находящееся въ движеніи, каково-бы это движеніе ни было: поступательное, вращательное, колебательное. Если всѣ точки тѣла двигаются съ одинаковой скоростью, то кинетическая энергія равна половинѣ произведенія массы тѣла на квадратъ его скорости. Когда скорости различны, то она выражается суммою живыхъ силъ всѣхъ матеріальныхъ частицъ тѣла. Какъ примѣры тѣлъ съ кинетической энергіей упомянемъ: земной шаръ, потому что онъ имѣетъ поступательное движеніе около солнца и вращательное на оси; движущійся артиллерійскій снарядъ, выброшенный пороховыми газами изъ орудія; камень, падающій на землю; желѣзнодорожный поѣздъ въ движеніи; вѣтеръ или движущійся воздухъ; струна въ дрожаніи и проч.

Если нѣтъ препятствій движенію, то кинетическая энергія ни чѣмъ не обнаруживается. Въ противномъ случаѣ, скорость движущагося тѣла уменьшается и препятствія преодолѣваются, иначе сказать: совершается механическая работа, равная уменьшенію живой силы.

Потенціальная энергія. Вода, стекающая съ высоты въ низменность, можетъ привести въ движеніе колеса мельницы и совершить механическую работу. Закрученная пружина, поднятая гиря приводятъ въ движеніе часы и другіе механизмы.

Потенціальной энергіей называется способность покоющагося тѣла совершить механическую работу, когда оно станетъ переходить изъ одного положенія или состоянія въ другія, когда напр. вода, поднятая на высоту, стекаетъ внизъ, закрученная пружина разкручивается и проч.

Всѣ силы природы суть потенціальныя энергіи, потому что всѣ онѣ способны, при извѣстныхъ условіяхъ, совершить работу. Теплота заставляетъ тѣла расширяться и, значитъ, производитъ работу, состоящую въ преодолѣваніи наружнаго давленія и сцѣпленія. Паровыя машины суть снаряды, имѣющіе цѣлью превращеніе теплоты въ работу. Магнитъ и электромагнитъ притягиваютъ желѣзо; два наэлектризованныя тѣла взаимно притягиваются или отталкиваются и проч. Слѣдовательно, теплота, магнитизмъ и электричество суть потенціальныя энергіи.

Одно и тоже вещество можетъ имѣть различную энергію въ зависимости отъ его физическаго состоянія. Такъ, при переходѣ твердаго тѣла въ жидкое, а жидкаго въ парообразное, энергія ве-

щества увеличивается, потому что при плавленіи, испареніи и кипѣніи исчезаетъ теплота, переходя въ потенціальное (скрытое) состояніе.

Простыя химическія вещества обладаютъ большею потенціальною энергіею, нежели образовавшіяся изъ нихъ сложныя, потому что при химическихъ соединеніяхъ освобождается теплота.

Превращеніе энергіи. Энергіи могутъ превращаться одна въ другую. Камень находящійся въ покоѣ, на нѣкоторой высотѣ, надъ земной поверхностію, обладаетъ потенціальной энергіей. Если камень падаетъ, то, по мѣрѣ приближенія къ землѣ, потенціальная энергія его уменьшается; зато возрастаетъ его скорость, а вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается его кинетическая энергія. Ядро, брошенное снизу вверхъ по вертикальному направленію, обладаетъ только кинетической энергіей. По мѣрѣ поднятія ядра, скорость его и кинетическая энергія уменьшаются, а потенціальная энергія возрастаетъ и достигаетъ своего maximum'а, когда скорость обратится въ нуль и ядро на мгновеніе остановится.

Если движущееся тѣло будетъ остановлено неподвижною преградою, то кинетическая энергія уничтожится, а на мѣсто ея явится теплота; вообще, кинетическая энергія можетъ превратится въ теплородную и, обратно, теплородная энергія перейти въ кинетическую. Потенціальная и теплородная энергіи не могутъ непосредственно замѣнить одна другую, а при помощи кинетической: потенціальная энергія переходитъ въ кинетическую, а послѣдняя въ теплоту; обратно: теплота превращается въ кинетическую энергію, которая потомъ переходитъ въ потенціальную.

Превращеніе энергій можетъ совершится нѣсколько разъ. Работникъ пилитъ бревно. Здѣсь собственная теплота человѣка тратится на то, чтобы сообщить кинетическую энергію пилѣ. Пила встрѣчаетъ сопротивленіе со стороны дерева, и кинетическая энергія превращается въ теплоту, которая обнаруживается возвышеніемъ температуры опилокъ и пилы. Вообразимъ желѣзнодорожный поѣздъ. Часть тепла, уносимаго паромъ изъ котла, превращается въ кинетическую энергію поѣзда; но когда скорость сдѣлается постоянною, то приращеніе этой энергіи употребляется на побореніе препятствій поѣзду и замѣняется теплотой въ осяхъ, колесахъ, рельсахъ и проч.

Станемъ натирать сукномъ смоляную палку. На эту работу мы теряемъ нашу собственную теплоту. Часть работы снова обращается въ теплоту, которая обнаруживается нагрѣваніемъ палки и сукна: другая часть переходитъ въ электричество, замѣчаемое нами на палкѣ и на сукнѣ. Болѣе очевидные примѣры превращенія кинетической энергіи въ электрическую представляютъ электрофорная (Гольца) и динамо-электрическая машины.

Обратно, электричество можетъ быть обращено въ теплоту и работу. Извѣстно, что проводникъ, по которому течетъ электричество, нагрѣвается, а электричество исчезаетъ. Составимъ гальваническую цѣпь изъ батареи, проводниковъ, электромагнитной ма-

шины и гальванометра. Помѣстивъ все это въ ящикъ, погрузимъ въ калориметръ съ водою. Замкнемъ цѣпь и, задержавъ движеніе электродвигателя, станемъ собирать теплоту въ теченіе нѣкотораго промежутка времени, наприм. 1 часа. Замѣтимъ приращеніе теплоты въ калориметрѣ и отклоненіе стрѣлки въ гальванометрѣ. Повторимъ тотъ же опытъ еще разъ, но при этомъ заставимъ электродвигатель совершать работу. Мы найдемъ теперь въ калориметрѣ меньше теплоты, а на гальванометрѣ меньшее, противъ прежняго, *отклоненіе магнитной стрѣлки*; недостающее количество тепла пропорціонально совершенной работѣ. Въ послѣднемъ опытѣ часть электричества превратилась въ теплоту, другая—въ работу.

Химическая энергія веществъ, проявляющаяся въ химическихъ реакціяхъ, даетъ, какъ общеизвѣстно, теплоту и даже свѣтъ.

Телефонъ Белля представляетъ превосходный примѣръ превращенія энергіи. Дрожаніе воздуха у передаточнаго телефона частію превращается въ дрожаніе желѣзной пластинки и другихъ принадлежностей телефона, частію отражается и разсѣивается въ окружающемъ воздухѣ. Живая сила дрожаній, поглощенныхъ телефономъ, превращается въ энергію индуктированныхъ токовъ, которые бѣгутъ на другую станцію, частію превращаются въ теплоту и нагрѣваютъ проводники, частію дѣйствуютъ на магнитъ пріемнаго телефона. Вслѣдствіе измѣненій въ силѣ магнита, желѣзная пластинка приходитъ въ дрожаніе, которое передается воздуху. Такимъ образомъ, звукъ, послѣ нѣсколькихъ преобразованій, снова превращается въ звукъ.

Обыкновенно энергія не вполнѣ превращается въ другую: часть ея остается неизмѣнною или переходитъ въ иныя энергіи. При электризованіи напримѣръ чрезъ треніе, часть механической работы обращается въ теплоту, другая въ электричество. Въ паровыхъ машинахъ только небольшое количество тепла утилизируется въ работу, а остальное разсѣивается въ воздухѣ и передается окружающимъ предметамъ. Въ телефонахъ Белля энергія звука испытываетъ многократныя превращенія; отъ того-то, звуки въ пріемномъ телефонѣ весьма слабы.

Сохраненіе энергіи. Всякая энергія, при переходѣ въ другія, не теряется и не прибываетъ, такъ что *сумма энергій дѣйствующихъ равна суммѣ энергій происходящихъ*. Этотъ законъ природы, названный *закономъ сохраненія энергіи*, оправданъ многочисленными наблюденіями. Приведемъ нѣсколько примѣровъ.

Въ механикѣ доказывается, что, какова бы ни была машина, работа двигателя всегда равна работѣ сопротивленій полезныхъ и вредныхъ; эта теорема есть, очевидно, частный случай закона сохраненія энергіи.

Чтобы привести тѣло въ движеніе, надо истратить работу, равную живой силѣ. Обратно, встрѣтивъ препятствіе и потерявъ всю скорость, тѣло производитъ механическую работу, равную своей живой силѣ.—Чтобы поднять нѣкоторый грузъ (воду, гирю) на нѣкоторую высоту, надо истратить работу, равную произведенію вѣса

этого груза на высоту. Обратно, спускаясь въ прежнее положеніе, тѣло можетъ совершить какъ разъ такую же работу.

Вообще, чтобы увеличить потенціальную энергію, надо затратить кинетическую; затѣмъ, потенціальная энергія, переходя въ кинетическую, возвращаетъ потраченную работу.

Исчезающая теплота даетъ опредѣленное количество механической работы; обратно, уничтожаемая работа даетъ теплоту въ томъ же отношеніи.

Въ большинствѣ случаевъ, вещества, соединяясь между собою химически, освобождаютъ теплоту. Такъ, 1 граммъ водорода, сгарая въ 8 граммахъ кислорода, выдѣляетъ 34462 един. теплоты. Обратно, чтобы разложить 8 грам. воды, надо истратить 34462 един. тепла.

Если 1 граммъ цинка растворить въ сѣрной кислотѣ, то выдѣлится 568 един. теплоты. Если законъ сохраненія энергіи справедливъ, то то же самое количество тепла должно освободиться, когда одинъ граммъ цинка растворится въ элементѣ Сми, съ тою только разницею что выдѣленіе водорода будетъ не на цинкѣ, а на платинѣ. При этомъ теплота выдѣляется не только въ жидкости элемента, но разсѣивается по всей цѣпи, нагрѣвая проводники и распредѣляясь пропорціонально сопротивленію частей цѣпи, такъ что при весьма большомъ сопротивленіи соединительнаго проводника почти вся теплота освобождается въ этомъ проводникѣ. Сколько бы мы ни взяли элементовъ Сми, какъ бы ихъ не сочетали,—количество теплоты, освобождаемой во всей цѣпи (въ батареѣ и соединительныхъ проводникахъ), равно тому количеству, которое способенъ освободить цинкъ, растворенный въ гальванической батареѣ. Если въ гальваническую цѣпь входитъ электромагнитный двигатель, то часть тепла исчезнетъ, но въ замѣнъ ея будетъ произведена работа въ эквивалентномъ количествѣ.

Чтобы разложить сложныя вещества на составныя части, надо истратить такое же количество тепла, какое дали бы тѣ же составныя части, соединяясь между собою химически. Если въ гальваническую цѣпь ввести приборъ для разложенія наприм. сѣрной кислоты, разбавленной водою, то въ цѣпи окажется меньше тепла, чѣмъ слѣдовало бы ожидать по растворенному количеству цинка —и именно на столько меньше, сколько нужно истратить тепла для разложенія воды.

Изложенное здѣсь, впрочемъ, относится только къ батареѣ Сми. Въ другихъ батареяхъ, кромѣ химическаго дѣйствія цинка на сѣрную кислоту есть и иныя дѣйствія, сопровождающіяся поглощеніемъ или выдѣленіемъ тепла. Тѣмъ не менѣе законъ сохраненія энергіи и здѣсь остается въ силѣ: количество тепла, разсѣивающагося во всей цѣпи, соотвѣтствуетъ во всей точности химическимъ реакціямъ въ батареѣ.

Объясненіе закона сохраненія энергіи. Разнообразныя явленія природы сводятся къ немногимъ первоначальнымъ причинамъ или силамъ природы. Сходство дѣйствій силъ, переходъ одной энергіи въ другую и законъ сохраненія энергіи заставляютъ подозрѣвать единство силъ, иначе сказать: всѣ явленія природы имѣютъ

только одну, всѣмъ имъ общую, причину. Сущность этой причины неизвѣстна; объ ней можно дѣлать только болѣе или менѣе правдоподобныя догадки. Въ настоящее время устанавливается и мало по малу вырабатывается гипотеза, которую можно назвать *динамической гипотезой* о веществѣ.

Каждое тѣло состоитъ изъ мельчайшихъ частицъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга большими промежутками. Частицы взаимно притягиваются и находятся въ быстромъ движеніи. Вслѣдствіе притяженія, частицы стремятся сблизиться до соприкосновенія; быстрое движеніе удерживаетъ ихъ въ нѣкоторомъ другъ отъ друга разстояніи, хотя отъ времени до времени онѣ сталкиваются;—и видимый объемъ тѣла несравненно болѣе суммы объемовъ всѣхъ частицъ, вмѣстѣ взятыхъ. Подобное устойчивое равновѣсіе отдѣльныхъ тѣлъ мы наблюдаемъ въ солнечной системѣ; планеты и солнце, не смотря на ихъ взаимное притяженіе, не сливаются въ одну массу, только по причинѣ ихъ движенія.

Каждая частица есть группа атомовъ, которые также находятся въ движеніи.

При взаимномъ химическомъ дѣйствіи веществъ, частицы разрушаются и образуются новыя частицы. Такъ напримѣръ, частица кислорода и частица водорода состоятъ каждая изъ двухъ атомовъ: первая—двухъ атомовъ кислорода, вторая—двухъ атомовъ водорода. При образованіи воды, реагируютъ двѣ частицы водорода и одна частица кислорода; образуются двѣ частицы воды, такъ что каждая состоитъ изъ двухъ атомовъ водорода и одного атома кислорода.

Можно представить себѣ самое разнообразное движеніе частицъ и составляющихъ ихъ атомовъ: поступательное, вращательное, колебательное, вращательно-колебательное и проч.

Для объясненія взаимнаго дѣйствія тѣлъ чрезъ разстоянія (лучистая теплота, свѣтъ, магнитизмъ и проч.), необходимо допустить существованіе эфира—весьма тонкаго вещества, наполняющаго весь міръ, какъ междупланетныя пространства, такъ и междучастичныя, и междуатомныя. Частицы эфира, подобно частицамъ физическихъ тѣлъ, находятся въ движеніи.

Каждой силѣ природы соотвѣтствуютъ тѣ или другія движенія матеріальныхъ частицъ и составляющихъ ихъ атомовъ и частицъ эфира. Лучи свѣтовые, теплородные и химическіе зависятъ отъ дрожанія эфирныхъ частицъ, перпендикулярнаго къ распространенію лучей. Явленія, наблюдаемыя въ газахъ, объясняютъ поступательнымъ движеніемъ матеріальныхъ частицъ; въ жидкостяхъ—неустойчивымъ движеніемъ, родъ котораго неизвѣстенъ; въ твердыхъ тѣлахъ частицы имѣютъ устойчивое движеніе.—Въ электричествѣ чрезъ вліяніе, въ индукціи, магнитизмѣ участвуетъ движеніе эфира, но какое именно—не опредѣлено; вмѣстѣ съ тѣмъ, необходимо принять, что электричество и магнитизмъ суть, нѣкоторые, впрочемъ, неизвѣстные роды движенія вещества, потому что электричество чрезъ пустоту не передается, а въ желѣзѣ и стали отъ намагничиванія измѣняется расположеніе частицъ.—Причина химическихъ явленій заключается въ движеніи атомовъ; и проч.

Такимъ образомъ, силы природы, съ точки зрѣнія динамической гипотезы, суть не потенціальныя (какъ выше сказано), а кинетическія энергіи. Правда опредѣленныхъ представленій о движеніяхъ матеріи и эфира, свойственныхъ силахъ природы, не выработано; но и то немногое, что до сихъ поръ найдено, даетъ возможность объяснить, по крайней мѣрѣ въ общихъ чертахъ, наблюдаемыя явленія и приводитъ къ важнымъ заключеніямъ.

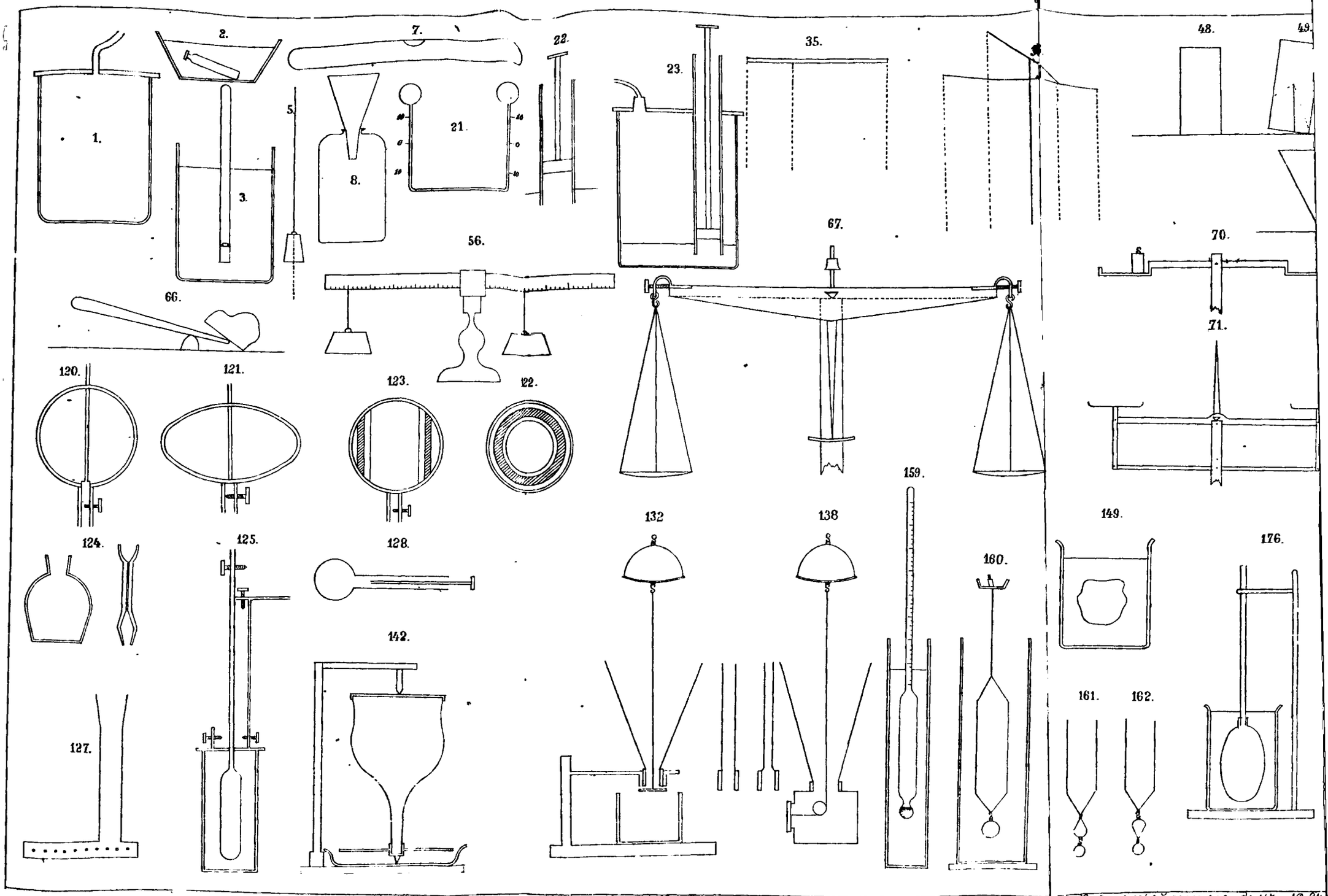
Движеніе одного рода можетъ превратиться въ другое: поступательное—во вращательное или колебательное и проч. Часть живой силы поступательнаго движенія смычка превращается въ живую силу дрожанія струны и воздуха. Колебательное движеніе поршня въ паровой машинѣ превращается во вращеніе мотыля и оси. Паденіе гири—во вращеніе колесъ въ часахъ, и тому подобное. Такъ какъ силы природы суть только разные роды движенія частицъ и атомовъ матеріи и эфира, то превращеніе силъ природы одной въ другую становится понятнымъ. При треніи, наприм., смолы о сукно, расходуется механическая работа; вмѣсто нея, возбуждаются два рода движенія въ частицахъ смолы и сукна; одинъ родъ движенія составляетъ теплоту, другой—электричество.

Чтобы объяснить освобожденіе теплоты при химическихъ явленіяхъ, надо допустить, что энергія атомныхъ движеній у простыхъ тѣлъ больше, чѣмъ у сложныхъ. При химическомъ соединеніи простыхъ тѣлъ, частицы ихъ разрушаются и образуются новыя частицы, составленныя изъ разнородныхъ атомовъ. Нѣкоторыя движенія, которыя были возможны въ частицахъ простыхъ тѣлъ, становятся невозможными при новой ихъ группировкѣ. Живая сила потерянныхъ движеній превращается въ движеніе самихъ частицъ или теплоту.

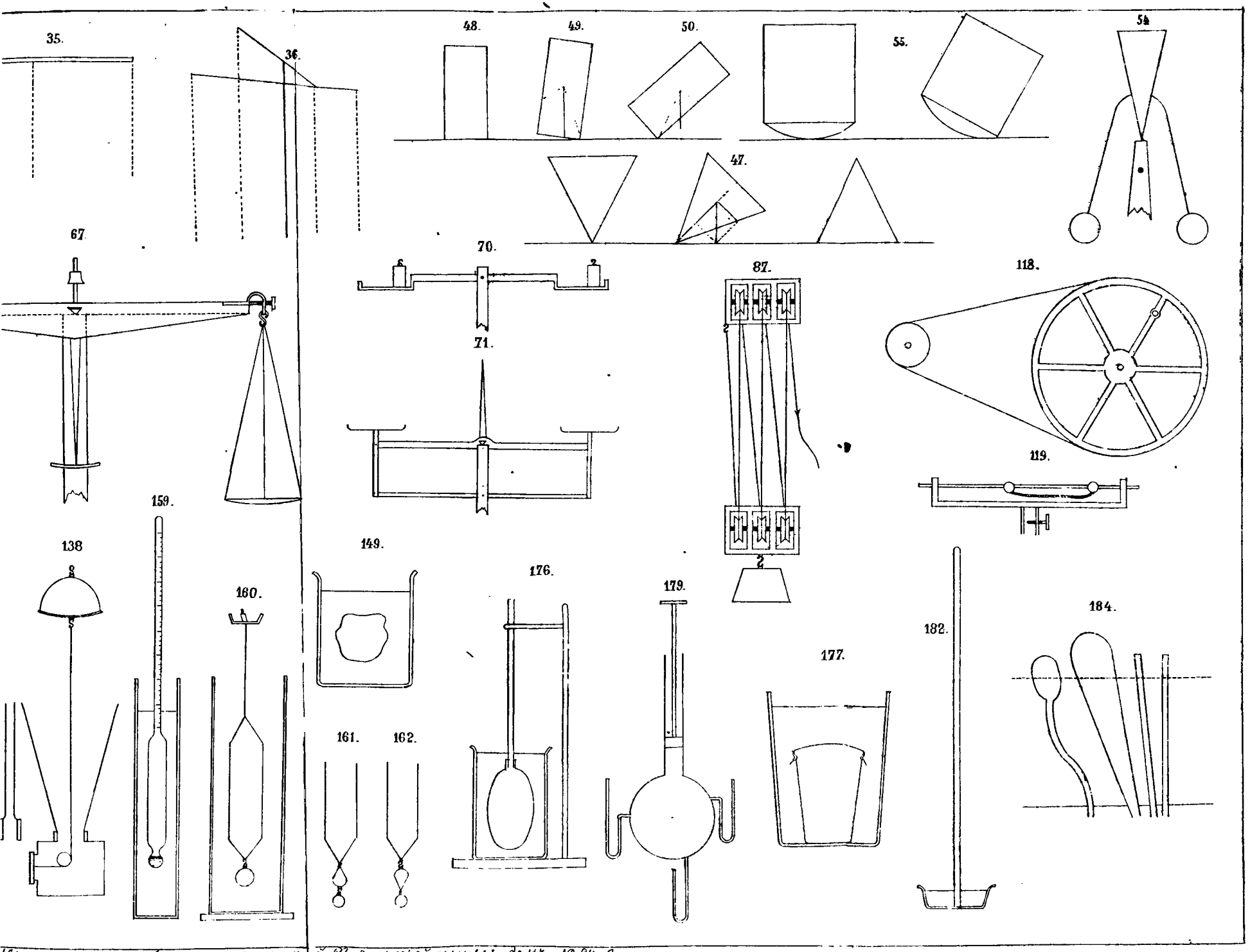
Химическая энергія веществъ гальваническаго элемента, введеннаго въ цѣпь, уменьшается; вмѣсто нея, является другое движеніе, соотвѣтствующее гальваническому току, а это движеніе превращается опять въ то движеніе, которое составляетъ теплоту. Если въ цѣпи есть электромагнитная машина, то часть такого движенія превращается въ механическую работу.

Въ механикѣ доказывается, что сумма живыхъ силъ системы движущихся тѣлъ есть величина постоянная. Такъ какъ всѣ силы природы представляютъ нѣкоторый родъ движенія, то, при превращеніи ихъ, общая сумма всѣхъ энергій измѣняться не можетъ. Количество тепла, электричества или другого дѣятеля природы можетъ увеличиться и уменьшиться, но тогда, вмѣсто исчезнувшей энергіи, является другая въ эквивалентномъ количествѣ, такъ что *сумма всѣхъ энергій остается величиной неизмѣнной* а въ этомъ именно и состоитъ законъ сохраненія энергіи.

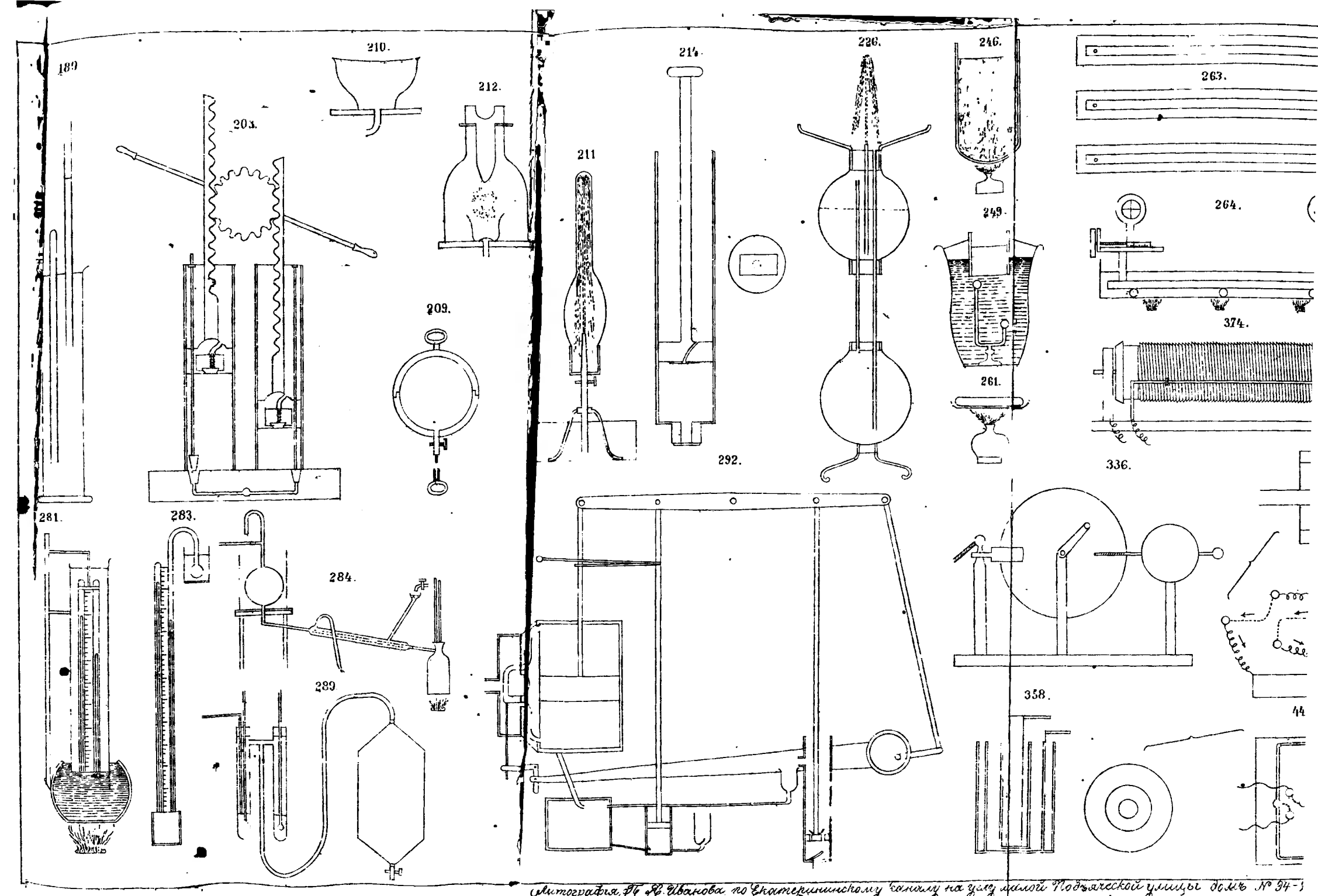
По причинѣ непрерывнаго лучеиспусканія, солнце и звѣзды должны охлаждаться. Теряемая ими теплота разсѣивается по вселенной и увеличиваетъ живую силу нагрѣваемыхъ тѣлъ и мірового эфира. Такимъ образомъ, энергія горячихъ тѣлъ уменьшается, а холодныхъ возрастаетъ, и температуры разныхъ точекъ вселенной приближаются къ равенству; энергія же всего мірозданія остается величиною постоянною.



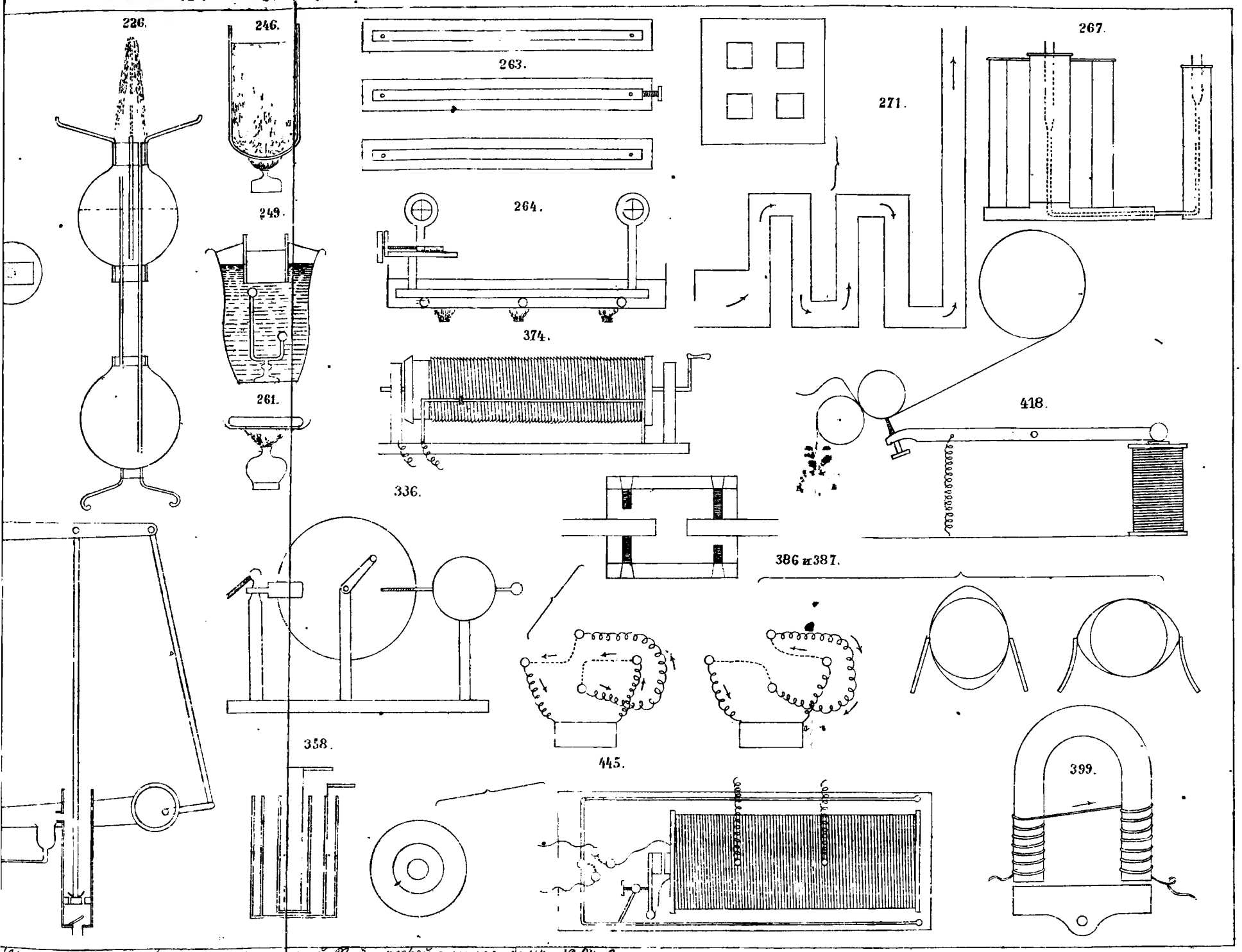
Литография Ѳ. Я. Иванова, по Екатерининскому каналу на углу малой Подьяческой улицы дома № 94



Екатерининскому каналу на углу малой Подъяческой улицы домъ № 94-2



Литография Ѳ. Ѳ. Иванова по Екатерининскому каналу на углу малой Подъяческой улицы домъ № 94-



Екатерининскому каналу на углу малой Подъяческой улицы домъ № 94-2

Школьные учебники СССР

SHEBA.SPB.RU/SHKOLA